



Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE
REFRIGERACIÓN DE CONSERVACIÓN PARA LABORATORIO”**

Luis Efrén Buenaño Sánchez

Marcel Ruperto Esparza Montero

TESIS DE GRADO

PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

Riobamba – Ecuador

2010

Espoch

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

CONSEJO DIRECTIVO

Mayo, 25 del 2010

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

LUIS EFRÉN BUENAÑO SÁNCHEZ

Titulada:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE
CONSERVACIÓN PARA LABORATORIO”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Geovanny Novillo A.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Ramiro Valenzuela S.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Jorge Lema M.
ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: LUIS EFRÉN BUENAÑO SÁNCHEZ

TÍTULO DE LA TESIS: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE CONSERVACIÓN PARA LABORATORIO”

Fecha de Examinación: Mayo 25 del 2010.

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
ING. GEOVANNY NOVILLO A.			
ING. RAMIRO VALENZUELA S.			
ING. JORGE LEMA M.			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de la defensa se han cumplido.

f) Presidente del Tribunal

Espoch

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

CONSEJO DIRECTIVO

Mayo, 25 del 2010

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

MARCEL RUPERTO ESPARZA MONTERO

Titulada:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE
CONSERVACIÓN PARA LABORATORIO”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Geovanny Novillo A.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Ramiro Valenzuela S.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Jorge Lema M.
ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: MARCEL RUPERTO ESPARZA MONTERO

TÍTULO DE LA TESIS: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE CONSERVACIÓN PARA LABORATORIO”

Fecha de Examinación: Mayo 25 del 2010.

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
ING. GEOVANNY NOVILLO A.			
ING. RAMIRO VALENZUELA S.			
ING. JORGE LEMA M.			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de la defensa se han cumplido.

f) Presidente del Tribunal

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Luis Efrén Buenaño Sánchez.

Marcel Ruperto Esparza Montero.

AGRADECIMIENTO

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Ing. Ramiro Valenzuela S. y al Ing. Jorge Lema quienes nos ayudaron en el desarrollo de la presente tesis.

A los señores: Ruperto Esparza, Ing. Lenin Aguirre los mismos que aportaron con sus ideas y la experiencia en la construcción de la cámara de conservación.

A todos los docentes de la Escuela de Ingeniería Mecánica por habernos impartido sus valiosos conocimientos durante nuestra formación profesional.

L.E.B.S.

M.R.E.M.

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a Dios por darme las fuerzas para seguir adelante sin desmayar, a mis queridos padres : Luz y Ernesto que me supieron apoyar, aconsejar y dar la mejor herencia el estudios a mi hija Dayana.

A mis amigos con quienes compartí mi vida estudiantil y una verdadera amistad.

L.E.B.S.

Dedico este trabajo a Dios quien con su grandeza ha guiado mi vida por el camino correcto, a mis padres Ruperto e Inés que supieron apoyarme siempre en todo momento , en especial a mi padre que con su sabiduría y experiencia a sido aporte fundamental durante mi carrera estudiantil, a mis hermanos que han sido ejemplo para cada día seguir adelante , a mis sobrinos que son la razón de superación y de inspiración.

M.R.E.M.

RESUMEN

Se ha diseñado y construido un Banco de Conservación para el Laboratorio del Área de Energía de la Cátedra de Refrigeración, en la Escuela de Ingeniería Mecánica con el objetivo principal de aportar a los estudiantes un equipo real de un sistema de refrigeración, se ha acoplado el banco de refrigeración para conservación a un sistema ya construido una cámara de congelación.

Con el propósito de graficar el ciclo real de refrigeración del banco de conservación, se compone de los siguientes elementos, dos válvulas solenoides, válvula reguladora de presión de evaporación, válvula de expansión termostática de ecualizador interno, manómetros, válvulas de paso, acumulador de succión, evaporador aletado y para la parte del control del sistema de refrigeración se utilizó un controlador lógico programable denominado PLC. A más de los elementos mencionados se tienen cuatro sensores de temperatura instalados en diferentes puntos estratégicos que permitirá tomar datos de temperatura para poder graficar el ciclo.

Este banco de conservación permiten realizar prácticas reales del funcionamiento de un sistema de refrigeración a su vez se puede utilizar como un aporte extra para laboratorios de control automático, transferencia de calor además, se ha elaborado las guías de laboratorio con el propósito de facilitar al estudiante la manipulación del banco de conservación y poder relacionar la parte teórica con lo práctico.

SUMMARY

It has designed and built a Conservation Bank to the laboratory of the Department of Energy, Chair of Refrigeration, School of Mechanical Engineering with the primary objective of providing students with a computer information system, the bank has docked conservation cooling to an already built a freezing chamber.

In order to graph the real cycle cooling conservation bank, consists of the following, two solenoid valves, pressure regulating valve of evaporation, thermostatic expansion valve internal equalizer, gauges, gate valves, suction accumulator , evaporator encouraged and control the cooling system was used called a programmable logic controller PLC. In addition to the items listed there are four temperature sensors installed at different strategic points that will allow me to take temperature data to plot the cycle.

The conservation bank allow actual practice of operating a cooling system in turn can be used as an extra contribution to automatic control lab, heat transfer also has been developed laboratory guidelines aim to facilitate the student conservation bank manipulation and to relate the theoretical with the practical.



TABLA DE CONTENIDOS

<u>CAPÍTULO</u>	<u>PÁGINA</u>
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación.....	1
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo General.....	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	2
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1 Conceptos fundamentales sobre refrigeración.....	3
2.2 Elementos del sistema de refrigeración por compresión mecánica.....	10
2.3. Refrigerante R- 404 A.....	30
2.4. Aislamiento térmico.....	32
2.5. Sistema de control.....	35
3. DISEÑO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.....	42
3.1. Generalidades.....	42
3.2. Cálculo de las cargas térmicas.....	42
3.3. Dimensionamiento de las tuberías de alta y baja presión.....	50
3.4. Cálculo del ciclo de refrigeración.....	51
3.5. Selección de equipos y accesorios.....	59
4. INSTALACIÓN Y PRUEBAS DEL SISTEMA.....	70
4.1. Introducción.....	70
4.2. Planificación del ensamble de los componentes del sistema.....	70
4.3. Instalación de equipos y accesorios.....	70
4.4. Pruebas de fuga.....	86
4.5. Proceso de vacío.....	86
4.6. Carga de refrigerante en el sistema.....	88
4.7. Ajuste y comprobación del equipo de seguridad.....	89
4.8. Calibración del controlador programable de temperatura.....	90
4.9. Pruebas de funcionamiento.....	91
4.10. Análisis de resultados.....	122
4.11. Elaboración de las guías de laboratorio.....	123
5. COSTOS Y MANTENIMIENTO.....	139
5.1. Generalidades.....	139

5.2.	Costos directos.....	139
5.3.	Costos Indirectos.....	145
5.4.	Costos total de fabricación.....	146
5.5.	Mantenimiento del equipo	146
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	19
6.1.	Conclusiones.....	149
6.2.	Recomendaciones.....	150

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

BIBLIOGRAFÍA.

LINKOGRAFÍA.

ANEXOS.

PLANOS.

LISTA DE TABLAS

<u>TABLA</u>	<u>PÁGINA</u>
2.1. Propiedades de refrigerante R-404 A.....	30
2.2. Propiedades del aislamiento térmico poliuretano expandido.....	32
2.3. Tiempo de reactividad del aislamiento.....	33
2.4. Comparación del coeficiente de conductividad térmica entre los diferentes materiales...	34
3.1. Datos de la cámara de refrigeración.....	44
3.2. Producto a conservar agua.....	45
3.3. Equivalente calorífico de motores eléctricos	48
3.4. Resumen de las cargas térmicas.	48
3.5. Diferencia de temperatura entre el evaporador y el espacio refrigerado.....	52
3.6. Datos de placa de la unidad condensadora.....	66
4.1. Lista de asignaciones para las entradas.....	80
4.2. Lista de asignaciones para las salidas.....	80
4.3. Lista de asignaciones de entradas programación cámara de conservación	84
4.4. Lista de asignaciones para las salidas programación cámara de conservación.....	84
4.5. Parámetros de configuración protegidos por el código de acceso.....	90
4.6. Datos obtenidos en las pruebas del ciclo de operación de la cámara de conservación sin carga.....	94
4.7. Propiedades de los estados del ciclo de operación de la cámara de conservación sin carga.....	98
4.8. Datos obtenidos en las pruebas de ciclo real de operación de la cámara de conservación con carga.....	101
4.9. Propiedades de los estados del ciclo de operación de la cámara de conservación con carga.....	105
4.10. Datos obtenidos en las pruebas del ciclo real de operación de la cámara de conservación sin carga funcionando los dos sistemas simultáneamente.....	108
4.11. Propiedades de los estados del ciclo de operación de la cámara de conservación sin carga funcionando los dos procesos simultáneamente.....	112
4.12. Datos obtenidos en las pruebas del ciclo real de operación de la cámara de conservación con carga funcionando los dos sistemas simultáneamente.....	116
4.13. Propiedades de los estados del ciclo de operación de la cámara de conservación con carga funcionando los dos procesos simultáneamente.....	120
5.1. Costo del bastidor.....	139
5.2. Costo de la cámara de conservación.....	140
5.3. Costos de los accesorios de la cámara de conservación.....	140
5.4. Costos de los accesorios del circuito eléctrico.....	142

5.5.	Costos de elementos electrónicos para toma de datos de temperatura.....	143
5.6.	Costo de materiales.....	144
5.7.	Costo de mano de obra.....	144
5.8.	Costo herramientas.....	144
5.9.	Costo por transporte.....	145
5.10	Total de costos directos.....	145
5.11.	Criterio de ingeniería.....	145
5.12.	Costos por imprevistos.....	145
5.13.	Total de costos indirectos.....	146
5.14.	Costo total del equipo.....	146
5.15.	Plan de mantenimiento.....	147

LISTA DE FIGURAS

<u>FIGURA</u>	<u>PÁGINA</u>
2.1. Ciclo invertido de Carnot Temperatura vs Entropía.....	4
2.2. Sistema de refrigeración por compresión mecánica	5
2.3. Diagrama presión entalpía del ciclo teórico de refrigeración.....	6
2.4. Diagrama presión entalpía del ciclo real de refrigeración.....	8
2.5. Elementos de un sistema de refrigeración simple.....	11
2.6. Compresor hermético.....	12
2.7. Vista superior de un compresor hermético.....	13
2.8. Tapas de cámara silenciadora.....	13
2.9. Unidad condensadora.....	14
2.10. Condensador de tubo con aletas de circulación forzada.....	15
2.11. Evaporador de tubo liso.....	16
2.12. Evaporador aletado.....	17
2.13. Evaporador de aire forzado.....	17
2.14. Presiones que actúan en la válvula de expansión termostática.....	19
2.15. Válvula solenoide normalmente cerrada.....	20
2.16. Válvula reguladora de presión de evaporación.....	20
2.17. Presóstato de baja y alta combinado.....	22
2.18. Termostato.....	22
2.19. Válvula de paso tipo globo.....	23
2.20. Filtro deshidratador.....	23
2.21. Recipiente de líquido vertical.....	24
2.22. Separador de aceite.....	25
2.23. Acumulador de succión.....	25
2.24. Indicador de líquido y humedad.....	26
2.25. Manómetro de alta presión	27
2.26. Manómetro de baja presión	27
2.27. Tubería de cobre.....	28
2.28. Poliuretano expandido.....	35
2.29. Esquema general de un sistema de control.....	35
3.1. Resumen en % de la carga térmica.....	49
3.2. Unidad condensadora marca TECUMSEH.....	59
3.3. Evaporador aletado de aire forzado.....	60

3.4.	Válvula de expansión DANFFOS, modelo TS2-0.11.....	61
3.5.	Válvula solenoide DANFFOS, modelo EVR-2.....	61
3.6.	Válvula de paso DANFFOS, modelo BML-10.....	62
3.7.	Manómetros de alta y baja marca REFCO.....	62
3.8.	Válvula reguladora de presión de evaporación marca, SPORLAN.....	63
3.9.	Conexiones de bronce.....	63
3.10.	Control programable de temperatura marca Full Gauge.....	64
3.11.	Sifón o trampa.....	65
3.12.	Tubería de cobre flexible, tipo L.....	65
3.13.	Acumulador vertical de succión marca arcol.....	66
3.14.	Contactador GMC-12.....	67
3.15.	Guardamotor GV2-M10.....	68
3.16.	Relé MK3P-I.....	68
3.17.	PLC marca Array.....	69
4.1	Unidad condensadora.....	71
4.2.	Ubicación del evaporador de aire forzado.....	71
4.3.	Instalación del evaporador de aire forzado.....	72
4.4.	Instalación de la válvula de expansión.....	73
4.5.	Ubicación del bulbo.....	73
4.6.	Instalación de la válvula solenoide.....	74
4.7.	Instalación de la válvula opr6.....	75
4.8.	Tubería a instalar.....	76
4.9.	Instalación del acumulador de succión.....	77
4.10.	Instalación de la válvula de paso.....	77
4.11.	Prensa de expansión.....	78
4.12.	Acampanamiento.....	78
4.13.	Soldadura oxiacetilénica.....	79
4.14.	Interfaz de usuario.....	81
4.15.	Funcionamiento de la cámara de congelación.....	82
4.16.	Funcionamiento de la cámara de conservación.....	83
4.17.	Funcionamiento cámara de congelación y conservación.....	85
4.18.	Prueba de fuga.....	86
4.19.	Proceso de vacío profundo.....	87
4.20.	Proceso de vacío.....	88
4.21.	Carga del refrigerante en el sistema.....	89
4.22.	Banco de refrigeración de conservación.....	91

4.23.	Equipos utilizados para realizar las pruebas de funcionamiento.....	92
4.24.	Gráfica de la cámara de conservación sin carga.....	93
4.25.	Temperatura de entrada del compresor cuando funciona la cámara de conservación sin carga.....	94
4.26.	Temperatura a la salida del compresor cuando funciona la cámara de conservación sin carga.....	95
4.27.	Temperatura a la entrada de val. expansión cuando funciona la cámara de conservación sin carga.....	95
4.28.	Temperatura a la salida del Evaporador cuando funciona la cámara de conservación sin carga ...	96
4.29.	Gráfica de la cámara de conservación con carga.....	100
4.30.	Temperatura de entrada del compresor cuando funciona la cámara de conservación con carga....	101
4.31.	Temperatura a la salida del compresor cuando funciona la cámara de conservación con carga...	102
4.32.	Temperatura a la entrada de val. expansión cuando funciona la cámara de conservación con carga.....	102
4.33.	Temperatura a la salida del Evaporador cuando funciona la cámara de conservación con carga.	103
4.34.	Gráfica de la cámara de conservación cuando están funcionando los sistemas simultáneamente sin carga.....	108
4.35.	Temperatura de entrada del compresor cuando funciona la cámara de congelación y conservación simultáneamente sin carga.....	109
4.36.	Temperatura a la salida del compresor cuando funciona la cámara de congelación y conservación simultáneamente sin carga.....	109
4.37.	Temperatura a la entrada de val. Expansión cuando funciona la cámara de congelación y conservación simultáneamente sin carga.....	110
4.38.	Temperatura a la salida del evaporador cuando funciona la cámara de congelación y conservación simultáneamente sin carga.....	110
4.39.	Gráfica de la cámara de conservación cuando están funcionando los dos sistemas simultáneamente con carga.....	115
4.40.	Temperatura de entrada del compresor cuando funciona la cámara de conservación con carga funcionando los dos sistemas simultáneamente.....	116
4.41.	Temperatura a la salida del compresor cuando funciona la cámara de conservación con carga funcionando los dos sistemas simultáneamente.....	117
4.42.	Temperatura a la entrada de val. expansión cuando funciona la cámara de conservación con carga funcionando los dos sistemas simultáneamente.....	117
4.43.	Temperatura a la salida del evaporador cuando funciona la cámara de conservación con carga funcionando los dos sistemas simultáneamente.....	118

LISTA DE ABREVIACIONES

ODP	Poder de reducción de la capa de ozono
POE	Poliol – Ester
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers
PLC	Programmable logic controller

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1:	Designación estándar de los refrigerantes.
ANEXO 2:	Aplicación de los refrigerantes más comunes.
ANEXO 3:	Propiedades Termo-físicas del refrigerante R-404 A
ANEXO 4:	Ciclo teórico del sistema de refrigeración de conservación.
ANEXO 5:	Ciclo real del sistema de refrigeración de conservación.
ANEXO 6:	Serpentines Evaporadores
ANEXO 7:	Catálogo Danffos válvulas de expansión termostáticas tipos T2 y TE2.
ANEXO 8:	Catálogo Danffos válvulas solenoides.
ANEXO 9:	Catálogo Antartic válvulas de paso Danffos.
ANEXO 10:	Catálogo Antartic manómetros Refco.
ANEXO 11:	Válvula reguladora de presión de evaporación Alco controls
ANEXO 12:	Catálogo Antartic conexiones de bronce y cobre.
ANEXO 13:	Manual de uso del controlador de temperatura MT-512i.
ANEXO 14:	Catálogo Antartic sifón.
ANEXO 15:	Catálogo Antartic tuberías de cobre.
ANEXO 16:	Catálogo Antartic acumulador de succión vertical.
ANEXO 17:	Catálogo de contactores.
ANEXO 18:	Catálogo del PLC.
ANEXO 19:	Tabla de resultados
ANEXO 20:	Ciclo real de operación de la cámara de conservación

LISTA DE SÍMBOLOS

SÍMBOLO.

COP_{RC}		Coficiente de funcionamiento del Refrigerador de Carnot.
T_{evap}	[°F]	Temperatura de evaporación.
T_{cond}	[°F]	Temperatura de condensación.
W_c	[KJ/Kg]	Trabajo de compresión.
q_{cond}	[KJ/Kg]	Calor de condensación.
q_0	[KJ/Kg]	Efecto refrigerante.
\dot{m}	[Kg/s]	Flujo másico de refrigerante.
Q	[KW]	Capacidad frigorífica requerida.
COP_R		Coficiente de funcionamiento.
P	[KW]	Potencia teórica requerida por el compresor.
n_R		Eficiencia del ciclo de refrigeración.
V_l	[m/s]	Velocidad del líquido refrigerante.
ρ_l	[Kg/m ³]	Densidad del líquido refrigerante.
A_t	[m ²]	Área de la tubería.
V_g	[m/s]	Velocidad del vapor refrigerante.
ρ_g	[Kg/m ³]	Densidad del vapor refrigerante.
q_t	[Btu/h]	Carga térmica por transmisión.
U	[Btu/h * ft ² * °F]	Coficiente global de transferencia de calor.
A	[ft ²]	Superficie de transferencia de calor.
ΔT	[°F]	Diferencia entre la temperatura del aire exterior y la temperatura del aire del espacio refrigerado.
e_1	[ft]	Espesor de la pared 1.
K_1	[Btu/h * ft * °F]	Coficiente de conductividad térmica del material 1.
h_e	[Btu/h * ft ² * °F]	Coficiente de transferencia por convección exterior.
e_2	[ft]	Espesor de la pared 2.
K_2	[Btu/h * ft * °F]	Coficiente de conductividad térmica del material 2.
h_i	[Btu/h * ft ² * °F]	Coficiente de transferencia por convección interior.
e_3	[ft]	Espesor de la pared 3.
K_3	[Btu/h * ft * °F]	Coficiente de conductividad térmica del material 3.
q_p	[Btu/h]	Carga térmica del producto.

m [Kg]	Masa del producto.
C [Btu/lb*°F]	Calor específico del producto (antes de congelación).
ΔT [°F]	Diferencia de temperatura entre la temperatura de introducción y la de conservación.
T_i [°F]	Temperatura de introducción.
T_f [°F]	Temperatura de conservación.
t [h]	Es el tiempo en el cual debe ser enfriado el producto.
q_a [Btu/h]	Carga térmica del agua.
q_b [Btu/h]	Carga térmica de la botella.
q_{in} [Btu/h]	Carga térmica por infiltración de aire.
q_p [Btu/h]	Carga térmica interna.
q_{im} [Btu/h]	Carga térmica de equipo.
EC [Kcal/h*Hp]	Equivalente calorífico.
Hp	Potencia del motor eléctrico.
Q_{total} [Btu/h]	Carga térmica total.
\varnothing [in]	Diámetro de la tubería.
T_R [°F]	Temperatura del espacio refrigerado.
DT [°F]	Diferencia de temp. entre el evaporador y espacio refrigerado.
T_m [°F]	Temperatura del medio ambiente.
ΔT [°F]	Incremento de temperatura.
P_{evap} [MPa]	Presión de evaporación.
P_{cond} [MPa]	Presión de condensación.
p_{succ} [MPa]	Presión de succión.
p_{desc} [MPa]	Presión de descarga.
ΔP_{diff} [MPa]	Caída de presión en la línea de descarga.
p_1 [MPa]	Presión del vapor saturado en el punto, de estado 1.
$p_{1'}$ [MPa]	Presión del vapor sobrecalentado en el punto, de estado 1'.
p_2 [MPa]	Presión del vapor sobrecalentado en el punto, de estado 2.
$p_{2'}$ [MPa]	Presión del vapor sobrecalentado en el punto, de estado 2'.
p_3 [MPa]	Presión del líquido saturado, en el punto de estado 3.
$p_{3'}$ [MPa]	Presión del líquido subenfriado, en el punto de estado 3'.
p_4 [MPa]	Presión de la mezcla líquido-vapor, en el punto de estado 4.

$p_{4'}$ [MPa]	Presión de la mezcla líquido-vapor, en el punto de estado 4'.
p_a [MPa]	Presión del vapor sobrecalentado, en el punto de estado a.
p_b [MPa]	Presión del vapor sobrecalentado, en el punto de estado b.
p_c [MPa]	Presión del vapor sobrecalentado, en el punto de estado c.
$p_{c'}$ [MPa]	Presión del vapor sobrecalentado, en el punto de estado c'.
γ	Relación de compresión
h_1 [KJ/Kg]	Entalpía del vapor saturado, en el punto de estado 1.
h_2 [KJ/Kg]	Entalpía del vapor sobrecalentado, en el punto de estado 2.
h_3 [KJ/Kg]	Entalpía del líquido saturado, en el punto de estado 3.
h_4 [KJ/Kg]	Entalpía del líquido saturado, en el punto de estado 4 .
$h_{1'}$ [KJ / Kg]	Entalpía del vapor sobrecalentado, en el punto de estado 1'.
$h_{2'}$ [KJ / Kg]	Entalpía del vapor sobrecalentado, en el punto de estado 2'.
$h_{3'}$ [KJ / Kg]	Entalpía del líquido subenfriado, en el punto de estado 3'.
$h_{4'}$ [KJ / Kg]	Entalpía de la mezcla líquido-vapor, en el punto de estado 4'.
h_a [KJ / Kg]	Entalpía del vapor sobrecalentado, en el punto de estado a.
h_b [KJ / Kg]	Entalpía del vapor sobrecalentado, en el punto de estado b.
h_c [KJ / Kg]	Entalpía del vapor sobrecalentado, en el punto de estado c
$h_{c'}$ [KJ / Kg]	Entalpía del vapor sobrecalentado, en el punto de estado c'

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes:

Desde sus inicios la humanidad ha sostenido una lucha continua de ampliar la vida de almacenamiento de los alimentos para su consumo posterior es por esta razón que se vio obligado a desarrollar un sistema que le permita disminuir la temperatura de los productos a conservar.

A través de la Tesis de grado realizada anteriormente en la simulación de la cámara de congelación se obtuvo un rango de temperatura de -15°C , y está previsto completar el Banco de Laboratorio con una instalación de un Sistema de Refrigeración para Conservación.

El diseño de sistemas de refrigeración se encuentra inmerso en muchas aplicaciones del sector industrial, por lo que es fundamental el desempeño profesional del futuro Ingeniero Mecánico, aplicando todos los conocimientos teóricos y prácticos de Refrigeración adquiridos durante su formación.

1.2 Justificación:

En la actualidad se ha podido observar que existen diversos sistemas de refrigeración acoplados en un solo equipo es decir, refrigeración para conservación y congelación, nuestro sistema va a ser diferente y didáctico va poseer un solo equipo que va ser utilizado solo para conservación.

A su vez el sistema se va a diseñar con un material transparente el mismo que facilitará al estudiante, identificar, manipular todas las instalaciones necesarias del sistema.

A este sistema se va acoplar un control específico para almacenar datos que permita graficar el ciclo de refrigeración.

1.3 Objetivos:

1.3.1 Objetivo general:

- Diseñar y construir un sistema de refrigeración para conservación para el laboratorio del área de energía.

1.3.2 Objetivos específicos:

- Definir los conceptos fundamentales del Sistema de Refrigeración.
- Diseñar el Sistema de Refrigeración por compresión mecánica.
- Construir e instalar el Sistema de Refrigeración.
- Realizar pruebas en el equipo instalado.
- Elaborar las guías de Laboratorio.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Conceptos fundamentales sobre refrigeración

2.1.1 Introducción

La refrigeración se puede definir como la extracción de calor de una sustancia o espacio produciendo en ella una temperatura inferior a la de sus alrededores. El enfriamiento se efectúa por la evaporación del líquido refrigerante en un intercambiador de calor denominado evaporador.

La sustancia de trabajo usada en sistemas de refrigeración por compresión se denomina refrigerante. Las propiedades del refrigerante influyen mucho en el diseño de un sistema de refrigeración. [1]

2.1.2 Aplicaciones de la refrigeración

La industria de la refrigeración se encuentra inmersa en varias aplicaciones, se han agrupado en 6 categorías generales: [1]

- Refrigeración domestica.
- Refrigeración comercial.
- Refrigeración industrial.
- Refrigeración marina y de transportación.
- Acondicionamiento de aire para el confort humano
- Acondicionamiento de aire industrial.

2.1.3 Compresión de vapor

La refrigeración Mecánica se realiza mediante la circulación continua de refrigerante a través del Evaporador, Compresor, Condensador y Válvula de Expansión en un sistema cerrado. [1]

2.1.4 Ciclo invertido de Carnot

El Ciclo de Carnot invertido es el modelo perfecto del ciclo de refrigeración por compresión de vapor más eficiente que opera entre dos temperaturas y que constituye un estándar de comparación con los ciclos reales de refrigeración: [2]

El ciclo invertido de Carnot consta de dos procesos isotérmicos (DA-CB), y dos procesos isoentropicos (DC-AB).

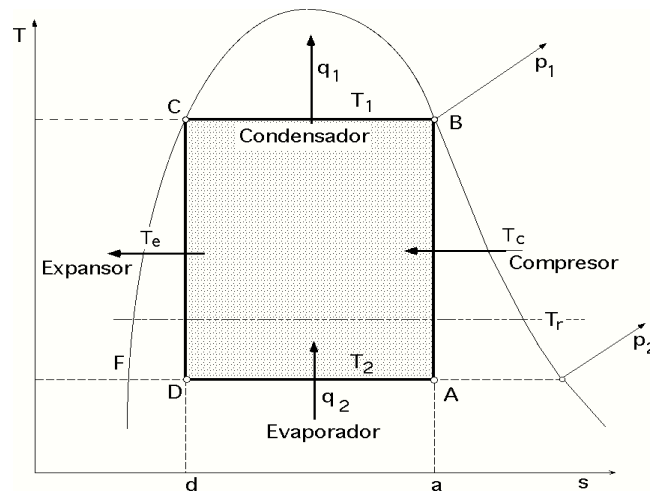


Fig. 2.1 Ciclo invertido de Carnot temperatura vs entropía

Funcionamiento del ciclo invertido de Carnot:

Un compresor accionado por un motor aumentaría la presión del fluido desde p_2 a p_1 , según la transformación (AB), alcanzando la temperatura T_1 ; esta compresión sería seguida de una condensación isotérmica (BC) en la que el calor q_1 es evacuado.

El fluido una vez licuado se expande isotérmicamente (CD), disminuyendo su presión y temperatura, con lo que se vaporiza parcialmente, llegando en estas condiciones al evaporador, estado D, iniciándose la vaporización isotérmica (DA).

El coeficiente de funcionamiento del Refrigerador de Carnot viene dado por la siguiente expresión:

$$COP_{RC} = \frac{T_{evap}}{T_{cond} - T_{evap}} \quad (2.1)$$

Donde:

COP_{RC} : Coeficiente de funcionamiento del Refrigerador de Carnot.

T_{evap} : Temperatura de evaporación [$^{\circ}K$].

T_{cond} : Temperatura de condensación [$^{\circ}K$].

2.1.5 Ciclo de refrigeración teórico por compresión mecánica

En la siguiente figura se muestra los elementos de un sistema de refrigeración por compresión mecánica de una etapa.

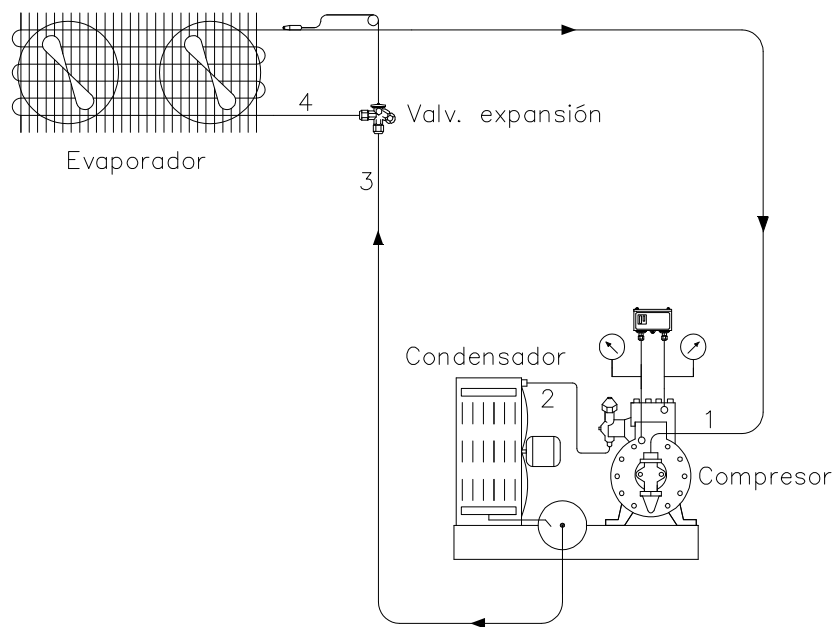


Fig. 2.2 Refrigeración por compresión mecánica

El ciclo de refrigeración ideal mecánica consta de cuatro procesos:

- 1-2 Compresión
- 2-3 Condensación
- 3-4 Expansión
- 4-1 Evaporación

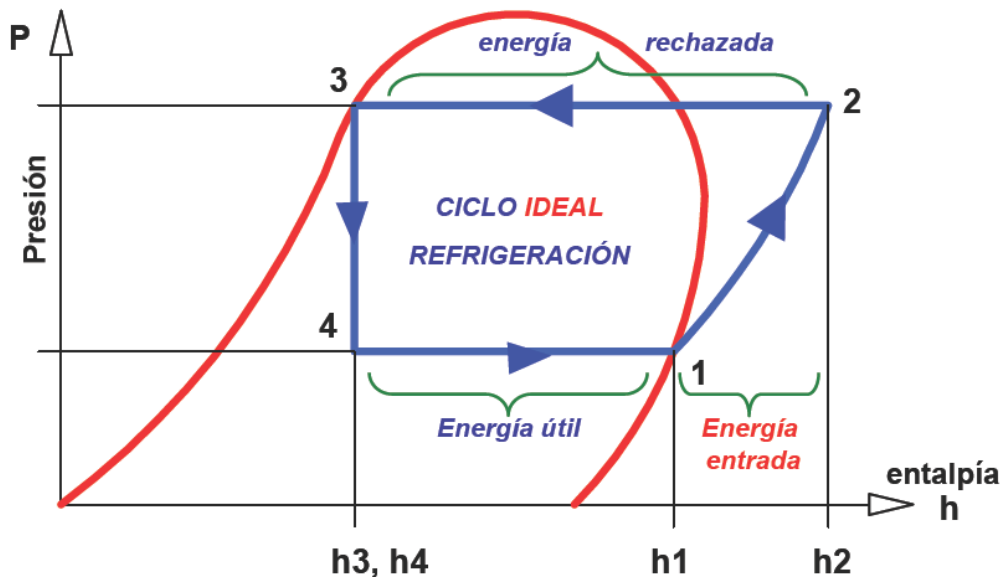


Fig. 2.3 Diagrama presión-entalpía del ciclo teórico de refrigeración

El proceso de compresión. El proceso de 1-2 lo realiza el compresor cumple con dos funciones principales: primero, succiona el refrigerante vaporizado (línea de succión), reduciendo la presión en el evaporador hasta un punto en el que puede mantenerse la temperatura de evaporación deseada. Segundo el compresor comprime ese refrigerante vaporizado, descargándole a una presión lo suficientemente alta (línea de descarga) para que la temperatura de saturación sea mayor que la temperatura del ambiente a refrigerar, de modo que se produzca la condensación fácilmente.

El proceso de condensación. El proceso de 2-3 lo efectúa el condensador que es básicamente un intercambiador de calor, en donde el calor absorbido por el refrigerante en el proceso de compresión es cedido al medio condensación (al aire en este caso). A medida que el calor es cedido por el vapor de alta temperatura y presión desciende su temperatura hasta el punto de saturación, condensándose el vapor y convirtiéndose en líquido.

El proceso de expansión. El proceso de 3-4 lo realiza la válvula de expansión su misión es disminuir inmediatamente la presión y dosificar la cantidad de fluido refrigerante que debe ingresar al evaporador a entalpía constante hasta el punto 4.

El proceso de evaporación. El proceso de 4 -1 la función que realiza el evaporador es extraer el calor del medio refrigerado por medio de la evaporación del refrigerante .El evaporador recibe refrigerante a baja presión y baja temperatura y lo entrega a baja presión y alta temperatura.

2.1.6 Ciclo de refrigeración real por compresión mecánica

En un ciclo de refrigeración real por compresión mecánica de vapor, la variación principal ocurre en el compresor. Las variaciones y temperaturas debido a posibles recalentamientos y subenfriamiento del refrigerante y caídas de presión en los diferentes elementos componentes de la instalación.

Se observa que el punto uno se ha reemplazado en función de la temperatura y presión, se localiza en la zona de vapor recalentado; esto es, debido al recalentamiento del refrigerante (1-1') ΔT_1 sea en el evaporador y/o en la tubería de aspiración y el aumento de temperatura del refrigerante (a-b) ΔT_2 cuando entra en contacto con la superficie de la cámara de compresión, además de la caída de presión ΔP_a en la válvula de aspiración o línea de succión. Esta variación produce un aumento refrigerante acompañado con la disminución del peso del refrigerante aspirado, una temperatura final de compresión muy elevada puede incidir en comprometer cambios notables en las propiedades del aceite lubricante (peligro de rotura de film lubricante entre pistón y cilindro por una excesiva disminución de la viscosidad del aceite), punto negativo que obliga a evitar valores exagerados de recalentamiento con la debida utilización de aislamiento térmico en la tubería de aspiración. [1]

El vapor es comprimido hasta una presión considerablemente mayor que la presión de condensación, para forzar la salida de vapor a través de la válvula de descarga. La caída de presión en la línea de descarga ΔP_d (c'-2') es necesaria para forzar la apertura de la válvula de descarga.

De otro lado observamos al punto 3 en la zona de sub. Enfriamiento, estado en cual permite obtener en el punto cuatro una menor temperatura y mayor concentración de refrigerante líquido, aumentando el valor del efecto refrigerante.

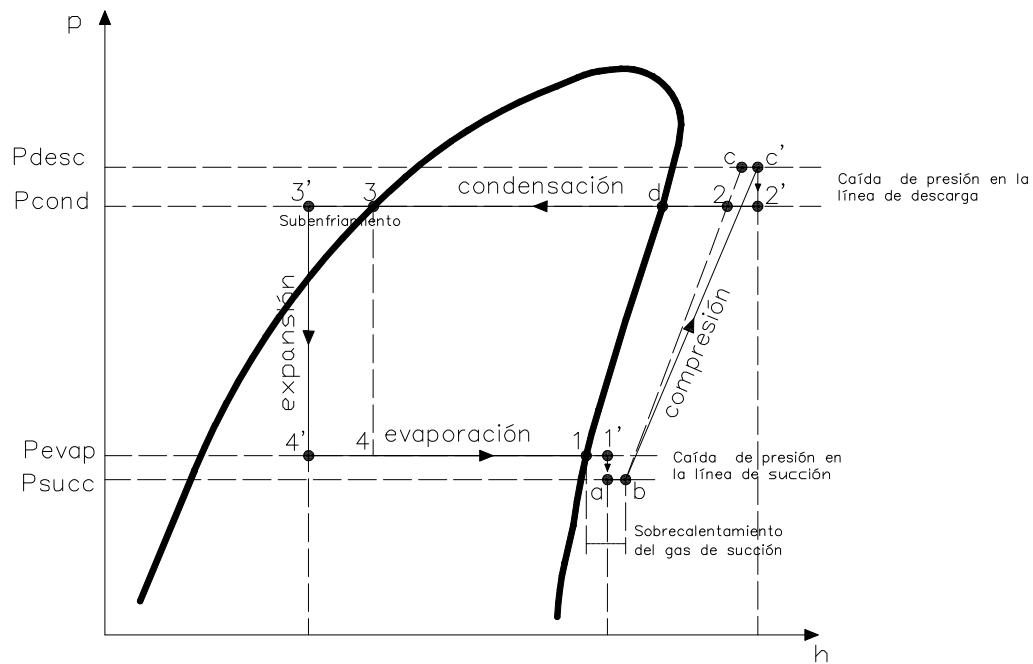


Fig. 2.4 Diagrama presión-entaltia del ciclo real de refrigeración

2.1.7 Principales parámetros del ciclo de refrigeración

a) Trabajo de compresión

El trabajo de compresión está definido por la siguiente expresión:

$$W_c = h_2 - h_1 \quad (2.2)$$

Donde:

W_c : Trabajo de compresión. [KJ/Kg]

h_1 : Entalpía del vapor saturado, en el punto de estado 1. [KJ/Kg]

h_2 : Entalpía del vapor sobrecalentado, en el punto de estado 2. [KJ/Kg]

b) El calor cedido del refrigerante al medio condensante

El calor cedido del refrigerante al medio condensante puede expresarse:

$$q_{cond} = h_2 - h_3 \quad (2.3)$$

Donde:

q_{cond} : Calor de condensación. [KJ/Kg]

h_2 : Entalpia del vapor sobrecalentado, en el punto de estado 2. [KJ/Kg]

h_3 : Entalpia del líquido saturado, en el punto de estado 3. [KJ/Kg]

c) **Efecto refrigerante**

La cantidad de calor absorbida por el refrigerante en el evaporador se define como efecto refrigerante y viene definido por la siguiente expresión:

$$q_0 = h_1 - h_4 \quad (2.4)$$

Donde:

q_0 : Efecto refrigerante. [KJ/Kg]

h_1 : Entalpia del vapor saturado, en el punto de estado 1. [KJ/Kg]

h_4 : Entalpia del líquido saturado, en el punto de estado 3. [KJ/Kg]

d) **Flujo másico**

La masa de refrigerante circulado para producir la capacidad de refrigeración requerida, está dada por:

$$\dot{m} = \frac{Q}{q_0} \quad (2.5)$$

Donde:

\dot{m} : Flujo másico de refrigerante. [Kg/s]

Q : Capacidad frigorífica requerida. [KW]

e) **Coefficiente de funcionamiento**

La relación entre el efecto refrigerante y el trabajo de compresión viene definido como **efecto frigorífico o coeficiente de funcionamiento** (COP_R). Expresa la efectividad de la energía que se gasta en el proceso de compresión, con relación a la energía que es absorbida en el proceso de evaporación esta determinado mediante la siguiente expresión:

$$COP_R = \frac{q}{w_c} > 1 \quad (2.6)$$

Donde:

q_0 : Efecto refrigerante. [KJ/Kg]

W_c : Trabajo de compresión. [KJ/Kg]

f) Potencia teórica

La potencia del sistema está dada básicamente por la potencia del compresor está dada por la siguiente expresión:

$$P = \dot{m} * W_c \quad (2.7)$$

Donde:

P: Potencia teórica requerida por el compresor.[KW]

La potencia real por lo general 30% a 50% mayor que la potencia teórica calculada según la eficiencia del compresor. [3]

g) Eficiencia del ciclo de refrigeración

La eficiencia del ciclo de refrigeración se determina mediante la comparación con el ciclo invertido de Carnot definida por la siguiente expresión:

$$n_R = \frac{COP_R}{COP_{RC}} \quad (2.8)$$

Donde:

n_R : Eficiencia del ciclo de refrigeración

2.2 Elementos del sistema de refrigeración por compresión mecánica

Los sistemas de refrigeración por compresión mecánica constan, básicamente, de cuatro elementos que consideramos fundamentales.

Estos elementos son:

- a. Compresor
- b. Condensador

- c. Válvula de expansión
- d. Evaporador

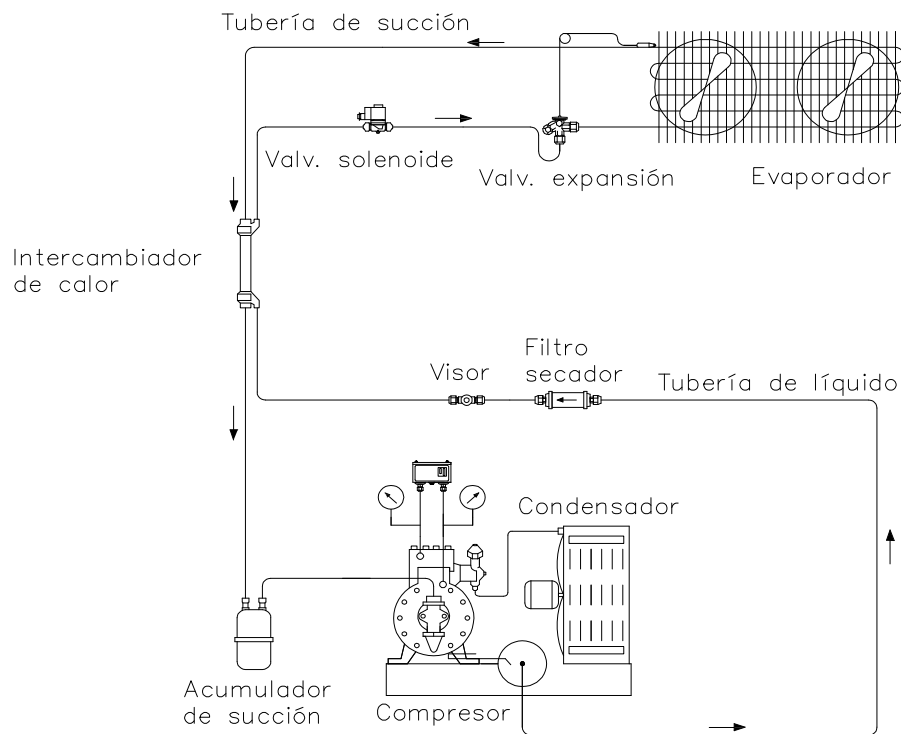


Fig. 2.5 Elementos de un sistema de refrigeración simple

2.2.1 Compresor

El compresor constituye la verdadera máquina de toda instalación frigorífica. Su función dentro del sistema de refrigeración, consiste en aspirar el fluido refrigerante a baja presión y temperatura, comprimirlo y descargarlo a una presión y temperatura tales que se pueda condensar.

2.2.1.1 Compresores herméticos

Su ámbito de aplicación comprende los sistemas de refrigeración y aire acondicionado.

El motor eléctrico va acoplado directamente al compresor, y ambos dentro de una misma envolvente de acero formando una unidad. Al ser hermético (cerrados) no podemos acceder a ellos, como por ejemplo para realizar operaciones de mantenimiento. También pueden ser de tipo rotativo o de tornillo.

En su configuración exterior (fig.2-6), llevan tres tubos soldados a la carcasa. Dos son del mismo diámetro y el tercero de menor. El de menor diámetro se conectara a la descarga y la

aspiración a cualquiera de los otros dos. Por lo general se hace al tubo que está al lado contrario de la placa de conexionado eléctrico, para evitar que las condensaciones que se puedan producir en el exterior del mismo lleguen a introducirse en la placa.

De esta manera el otro tubo, que no se conecta al circuito, se puede utilizar para que después de conectar una conexión obús o una válvula de intervención, se aproveche para realizar operaciones tales como:

- Meter carga refrigerante
- Comprobar la presión de aspiración
- Meter aceite

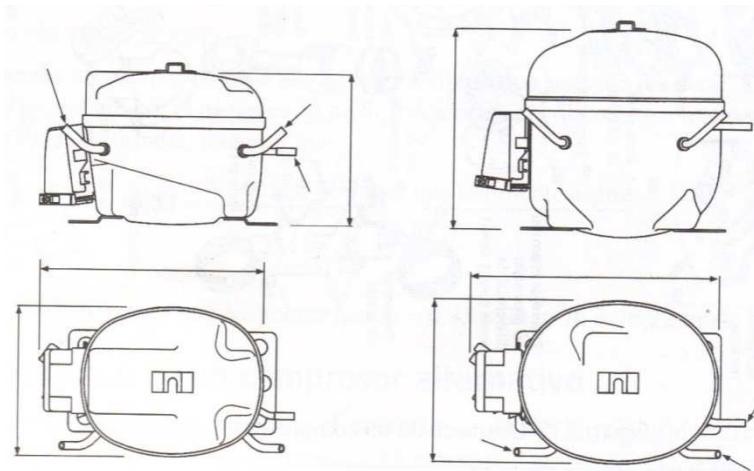


Fig. 2.6 Compresor hermético

Características del funcionamiento

La **fig. 2.7** corresponde a un compresor hermético alternativo de un cilindro en el que hay que destacar:

El conjunto motor compresor, va montado en la carcasa mediante tres resortes que amortiguan las cargas con independencia de los cuatro amortiguadores de caucho que lleva el compresor en su base exterior.

El fluido refrigerante al entrar en el interior de la carcasa, va llenando el espacio, por lo que está en contacto con el motor eléctrico y con el compresor, que de esta manera los refrigera.



Fig. 2.7 Vista superior de un compresor hermético

La aspiración del fluido refrigerante se realiza a través de las cámaras silenciadoras (las dos circulares de la izquierda).

El fluido refrigerante, en la descarga, atraviesa dos cámaras silenciadoras (una de ellas no tiene la tapa para distinguirlas). Cuando la presión de descarga es demasiado alta es transmitida al compresor y a su vez “absorbida” por los tres resortes, lo que evita ruidos por vibraciones.

Las válvulas de aspiración y descarga van montadas en el plato de las válvulas.



Fig. 2.8 A. Tapa de cámara silenciadora. B. Culata. C. Placa de las válvulas

En la figura 2-8 se representa la culata, una tapa de cámara silenciadora y la placa de válvulas, en la que destaca la válvula de descarga. [4]

2.2.1.2 Unidad condensadora

Cuando el compresor, condensador y recipiente del líquido van montados en una misma bancada formando todos ellos un conjunto, constituyen las llamadas unidades condensadoras.

Ref. [4] Pág. 59.

Tal como se puede apreciar en la (fig.2.9) esta unidad condensadora está formada por:

- a) Un compresor hermético, alternativo.
- b) Las válvulas de servicio de aspiración y descarga.
- c) Un condensador de aire forzado (un ventilador)
- d) Un recipiente vertical líquido

Todos ellos están montados sobre una bancada



Fig. 2.9 Unidad condensadora

2.2.2 Condensadores

El condensador es un intercambiador de calor, su función es eliminar el recalentamiento del gas refrigerante proveniente del compresor y a continuación licuarlo. [1]

2.2.2.1 Condensadores de aire

Funciones:

- Enfrían el vapor recalentado robando el calor sensible.
- Condensan el fluido al robar el calor latente.
- Y también pueden producir el subenfriamiento, por ejemplo, si se sobredimensionan.
- En estos condensadores, el fluido refrigerante cede su calor al aire.

Los condensadores de aire pueden ser:

De tubo liso

Se emplean en instalaciones pequeñas, como en las neveras domesticas. El material es de cobre y funcionan por circulación natural. Es decir, el aire que lo rodea, a medida que se va calentando, va ascendiendo y es “sustituido” por aire nuevo; o sea, una renovación por gravedad. Por este motivo, los fabricantes de las neveras domesticas recomiendan dejar un espacio determinado entre la parte posterior de la nevera y la pared. Ya que si no hay buena circulación de aire la temperatura de condensación es muy alta y en consecuencia también la presión de condensación. [4]

De tubo con aletas

Estos evaporadores están formados por un serpentín de cobre y aletas de aluminio separadas entre sí. La transmisión de calor se produce a través del tubo y las aletas, con lo cual la superficie de transmisión es mayor. Si, además, la circulación del aire es forzada mediante ventiladores, la capacidad del condensador aumenta. Es de gran aplicación en instalaciones industriales porque un condensador de estas características tendría unas dimensiones muchos menores que otro de tipo liso de igualdad de capacidades. Dicho de otro modo, a igualdad de tamaño tendría mucho más capacidad de condensación.

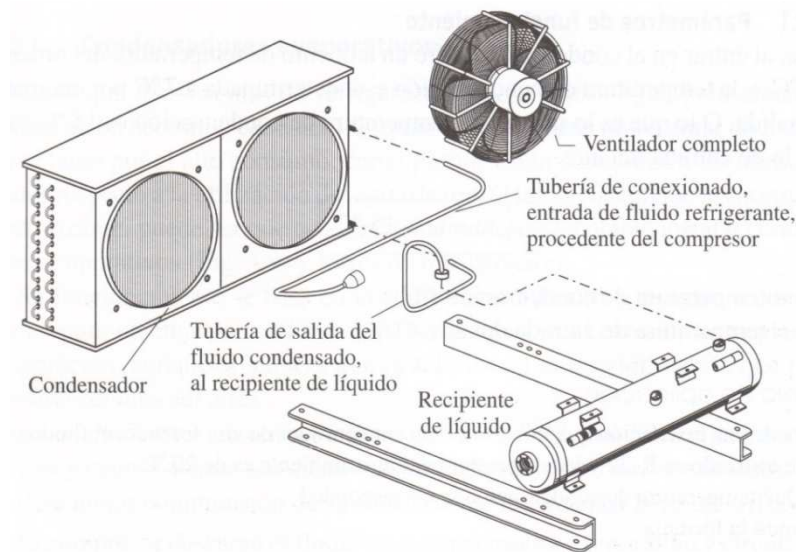


Fig. 2.10 Condensador de tubo con aletas de circulación forzada

La entrada de aire se realiza por la parte posterior del condensador, y la salida por la parte del lado de los ventiladores, siendo esta de menor sección. La chapa que rodea a un ventilador “obliga” al aire a estar en contacto con todo el serpentín del condensador, lo que favorece la transmisión de calor entre el fluido refrigerante y el aire. [4]

2.2.3 Evaporador

Es el elemento de la instalación donde se produce el efecto refrigerante. Es un intercambiador de calor, en el cual el calor de la cámara o local pasa al interior del evaporador por efecto de la ebullición del fluido refrigerante en su interior. [4]

El fluido refrigerante, ya expandido entra en el evaporador a la presión y temperatura necesaria para que efectúe el enfriamiento del medio que lo rodea.

2.2.3.1 Enfriadores de aire

De tubo liso

Son los más empleados desde el principio de refrigeración. Consisten en un tubo de cobre recocido que puede presentar distintas formas, entre las que destacan, por su aplicación, el de zigzag y en espiral (fig.2-19). [4]

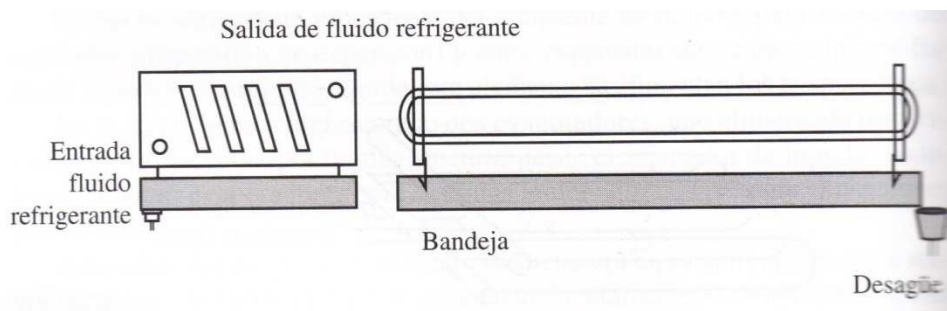


Fig. 2.11 Evaporador de tubo liso

De tubo con aletas

Para una misma capacidad, con las aletas se consigue un menor tamaño porque la superficie de transmisión es la de los tubos mas la de las aletas.

Las aletas pueden ser de varias formas, principalmente rectangulares o circulares, y no es necesariamente lisas con objeto de facilitar la turbulencia del aire. Las aletas se fijan al tubo mediante un proceso mecánico, que consiste en el ensanchamiento del tubo haciendo pasar por su interior una bola de acero. [4]

La circulación del aire, a través de estos evaporadores puede ser:

Natural

En los que el aire circula por su diferencia de densidad en los distintos puntos, estableciendo corrientes de convección. Se instalan en el techo o a lo largo de las paredes del local a enfriar. El aire frío procedente del evaporador, al entrar en contacto con el producto se calienta por la transmisión de calor y asciende hacia el evaporador, que lo enfría, cayendo nuevamente sobre el producto a enfriar.

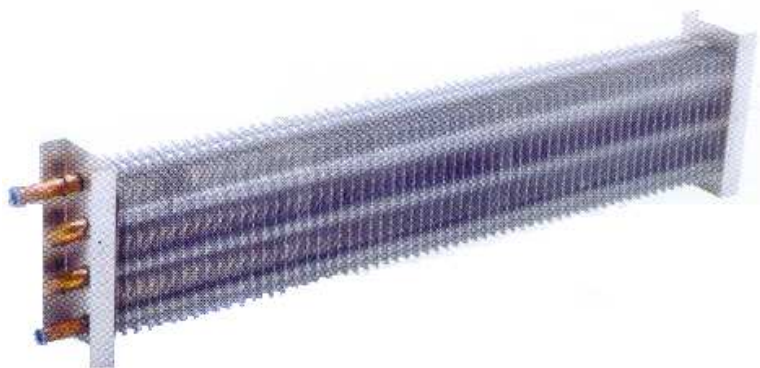


Fig. 2.12 Evaporador aletado.

Forzada

La entrada y salida del aire se produce por la acción de los ventiladores, por lo que la separación entre las aletas es menor que en los de circulación natural.



Fig. 2.13 Evaporador de aire forzado

2.2.4 Elementos de regulación y control

2.2.4.1 Válvulas para el control del flujo refrigerante

Independientemente del tipo de válvula, la función de cualquier control de flujo refrigerante es doble: dosificar el refrigerante líquido que va al evaporador con una rapidez proporcional a la cual ocurre la vaporización en dicha unidad y mantener un diferencial de presión entre los lados de baja y alta presión.

Existen varias clases de dispositivos de expansión tales como: tubos capilares, válvulas de expansión automáticas, válvulas con flotadores de alta y baja presión, y válvulas de expansión termostáticas. (Para nuestro sistema seleccionaremos este tipo de válvulas). [6]

2.2.4.2 Válvulas de expansión termostáticas

Las válvulas de expansión termostáticas regulan la cantidad de fluido refrigerante, que debe entrar en el evaporador, son dispositivos de expansión isoentálpicamente al pasar el fluido de alta a la baja presión necesaria en el evaporador. [4]

En funcionamiento de la válvula de expansión termostática es el siguiente:

A la entrada de la válvula, el fluido debe estar en estado de líquido 100% a la temperatura de condensación o mejor aun subenfriado, con lo que al sufrir la expansión, a la salida estará en estado de mezcla de líquido y vapor; pero en esta, la proporción deberá ser mucho mayor en líquido que en vapor para que tenga un buen rendimiento.

Su funcionamiento queda determinado por tres presiones fundamentales que actúan sobre la membrana interior (fig.2-22)

P_b = Presión del bulbo, actúa sobre la parte superior y tiende a abrir la válvula. El bulbo esta unido a la parte superior de la válvula, mediante un tubo capilar soldado entre ambos.

P_e = Presión de evaporación, actúa sobre la parte inferior de la membrana y tiende a cerrarla.

La presión del evaporador se comunica con la parte inferior de la membrana, por medio de un orificio realizado a tal fin que en el interior del cuerpo de la válvula.

Por ello, estas válvulas se llaman “válvula de expansión termostáticas con igualador interno”.

P_r = Presión del resorte, también actúa sobre la parte inferior de la membrana y tiende a cerrarla. Es la fuerza que actúa directamente sobre el vástago de la válvula.

Por lo que, en su funcionamiento, la presión del bulbo es equilibrada por la suma de la presión del resorte más la presión de evaporación.

$$P_b = P_r + P_e$$

Cuando $P_b > P_r + P_e$, la válvula se abre

Cuando $P_b < P_r + P_e$, la válvula se cierra

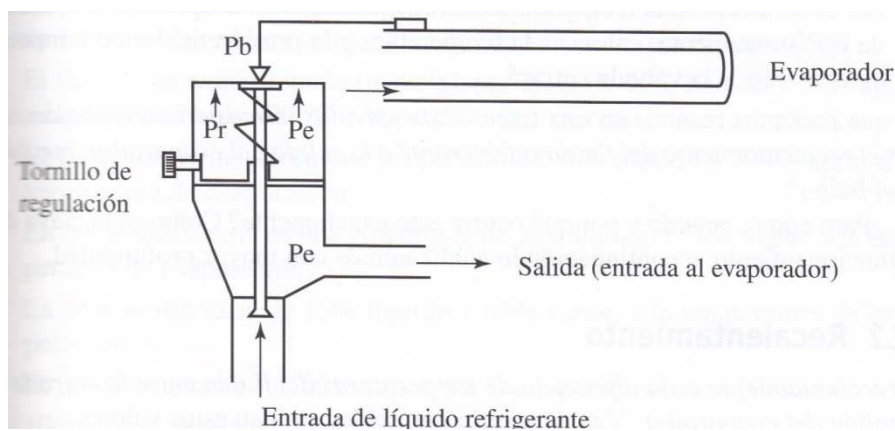


Fig. 2.14 Presiones que actúan en la válvula de expansión termostática

2.2.4.3 Válvulas solenoides (o electroválvula)

Es una válvula electromagnética que controla el paso del fluido por medio de un impulso eléctrico. Esta válvula solenoide consta de dos partes distintas: un solenoide (bobina eléctrica) y el cuerpo de la válvula. [1]

Hay dos tipos de válvulas solenoides:

- de acción directa
- operadas con piloto

La válvula de acción directa se usa para tuberías de diámetro inferior a 50mm, y su funcionamiento se basa en la energía eléctrica que recibe el sistema, la cual hace que se cree un campo magnético en la bobina y atrae al núcleo hacia arriba para dar paso al refrigerante en estado líquido y esta válvula cierra cuando se encuentra sin corriente eléctrica, es decir que este elemento actúa en 2 posiciones: abierta y cerrada.

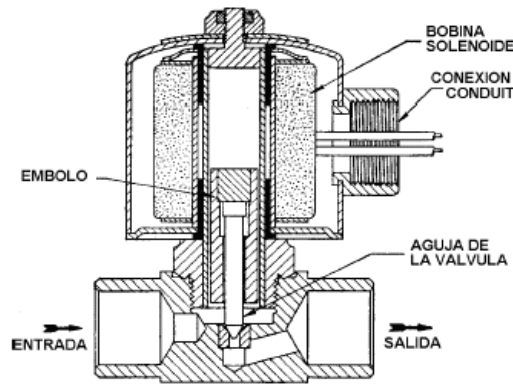


Fig. 2.15 Válvula solenoide normalmente cerrada

Esta válvula se utiliza en la línea de refrigerante líquido para una eficiente interceptación del refrigerante y evitar una sobrecarga en el evaporador durante los períodos de parada del compresor

2.2.4.4 Válvula reguladora de presión de evaporación

La válvula reguladora de presión se utiliza para: [7]

1. Mantener una presión de evaporación constante y por tanto una temperatura constante en la superficie del evaporador.
2. Proteger contra una presión de evaporación demasiado baja (por ejemplo, como protección contra la congelación en un enfriador de agua). El regulador cierra cuando la presión de evaporación disminuye por debajo del valor ajustado.
3. Diferencia la presión de evaporación en una instalación frigorífica con un solo compresor y varios evaporadores con diferentes temperaturas de evaporación.



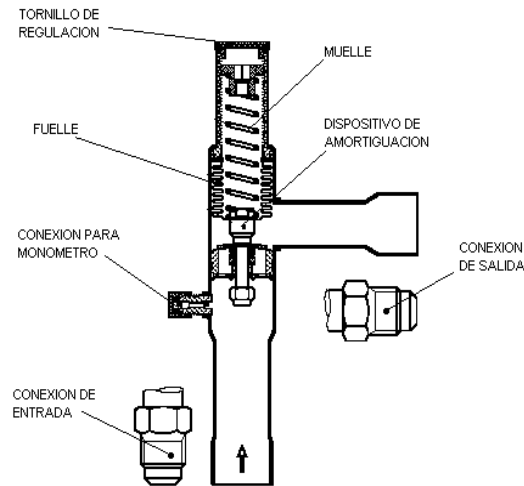


Fig. 2.16 Válvula reguladora de presión de evaporación

2.2.4.5 Presóstatos

Son unos aparatos que activados por presión, tienen la función de abrir o cerrar un circuito mediante uno o varios contactos normalmente ya sea abierto o cerrado. De manera práctica se puede decir que son unos interruptores eléctricos que funcionan con presión. [4]

Pueden ser:

a) Presóstatos de alta presión

Se conecta a la descarga del compresor, y su función es impedir que en la zona de alta presión, se alcancen valores que afecten al rendimiento de la instalación o a la propia seguridad de las personas. Se regulan a una determinada presión, y cuando la instalación alcanza ese valor entonces el presóstato para al compresor.

b) Presóstato de baja presión

Se conecta a la aspiración del compresor, y su función es evitar que la presión, en la zona de baja, pueda “caer” por debajo de la presión atmosférica y evitar que la presión descienda por debajo de lo normal de funcionamiento, ya que afectaría al rendimiento.

De hecho su regulación debe estar siempre por encima de la presión atmosférica. Cuando la presión hasta la correspondiente al valor de regulación, el Presóstato parara al compresor.

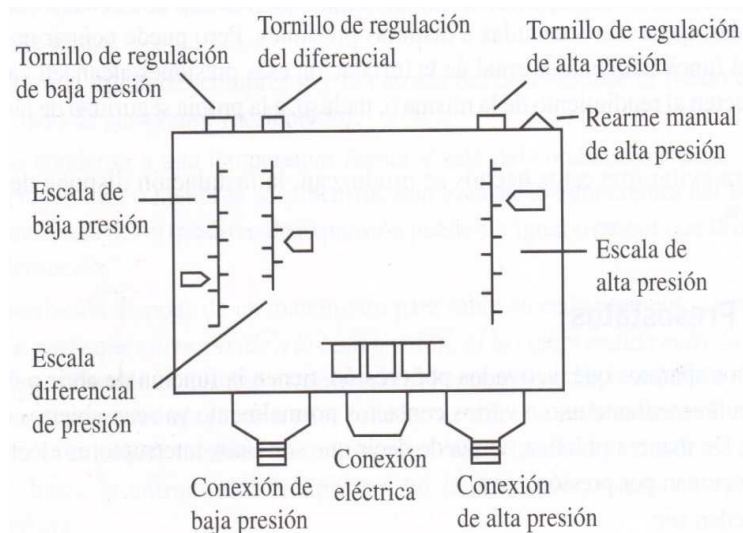


Fig. 2.17 Presostato de alta y baja combinado

2.2.4.6 Termostatos

Es el elemento que controla la temperatura de la cámara. Abre o cierra un contacto a un circuito eléctrico cuando alcanza la temperatura de regulación. Se puede decir que es un conmutador eléctrico que funciona por temperatura. [4]

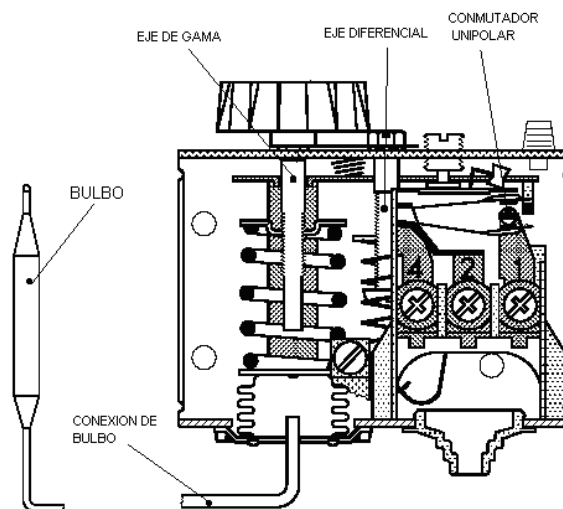


Fig. 2.18 Termostato

2.2.4.7 Válvulas de paso

Su función principal es controlar el flujo de líquido o vapor, de modo que puedan aislarse partes del sistema de refrigeración para reparaciones o mantenimiento.

Las válvulas que comúnmente se utilizan en refrigeración son de tipo globo.

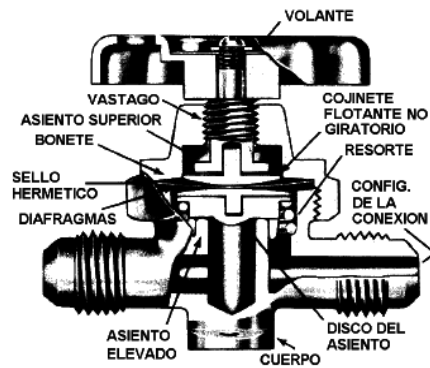


Fig. 2.19 Válvula de paso tipo globo

2.2.4.8 Filtro secador o deshidratador

Generalmente, la humedad contenida en el aire puede penetrar en una instalación frigorífica. Su objetivo principal es eliminar la humedad presente en el refrigerante para evitar la formación de ácidos que atacan al material, sales oxidas que se acumulan en la superficie de los tubos disminuyendo la capacidad de intercambio térmico y provocan obstrucción en válvulas, filtros, etc.

Los filtros de humedad además de su función deshidratadora, retienen impurezas (partículas solidas). [4]

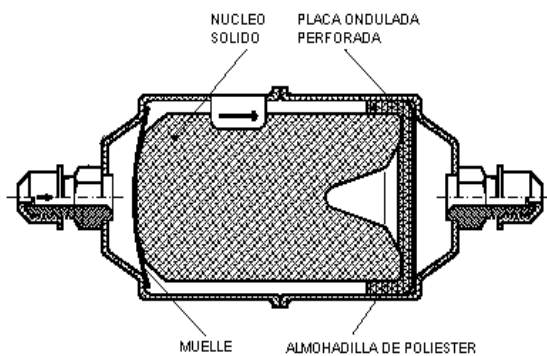


Fig. 2.20 Filtro deshidratador

2.2.4.9 Recipiente de líquido

Conocido también como acumulador de líquido. Puede ser vertical u horizontal. Se coloca a la salida del condensador, aunque los hay del tipo condensador –recipiente que forma un solo elemento. [4]

El líquido que sale del condensador no va directamente al evaporador, sino que se “almacena” en el recipiente. Mantiene una reserva de líquido para restituirlo según su demanda.

También sirven para recoger el fluido refrigerante de la instalación en caso de avería o que se quiera desmontar algún elemento.

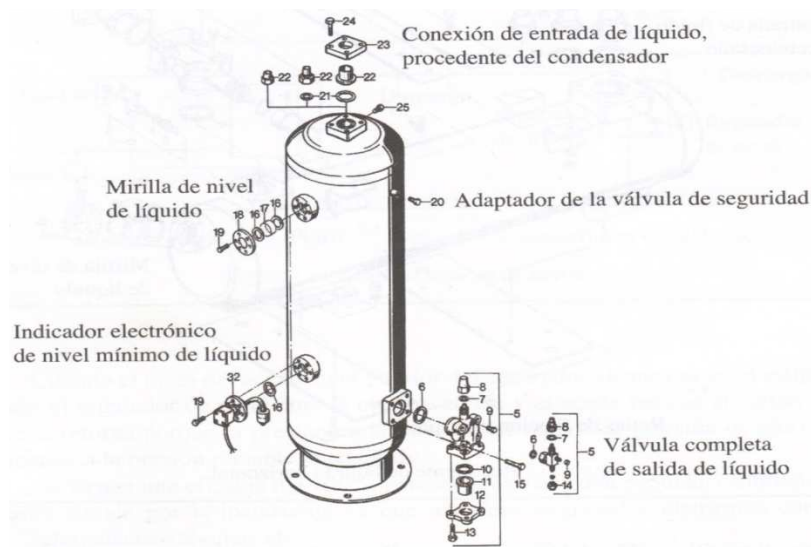


Fig. 2.21 Recipiente de líquido vertical

2.2.4.10 Separador de aceite

Se instala en la tubería de descarga, después del compresor. El fluido refrigerante sale del compresor mezclado con el aceite lubricación y este debe retornar al cárter principalmente por dos razones: [4]

- 1) Porque el nivel de aceite del cárter iría disminuyendo
- 2) Porque el aceite, cuando llegue al circuito de baja presión, podría tener problemas de retorno (deja de ser miscible y crea problemas en los evaporadores, por ejemplo de transmisión o taponamientos).



Fig. 2.22 Separador de aceite

2.2.4.11 Acumulador de succión

Es un elemento que se instala en el lado de baja presión, antes del compresor. Su función consiste en evitar que llegue fluido en estado líquido al compresor. Es un recipiente metálico, que por lo general suele llevar un tubo de entrada y otro de salida

Evidentemente el tubo de de entrada se conecta a la tubería que viene del evaporador, y el de salida a la que va al compresor.

Si nos fijamos en el gráfico, el tubo de salida tiene en la parte inferior un orificio calibrado, que sirve para el retorno del aceite.

La misma depresión originada por la aspiración del compresor facilita la evaporación del fluido. [4]

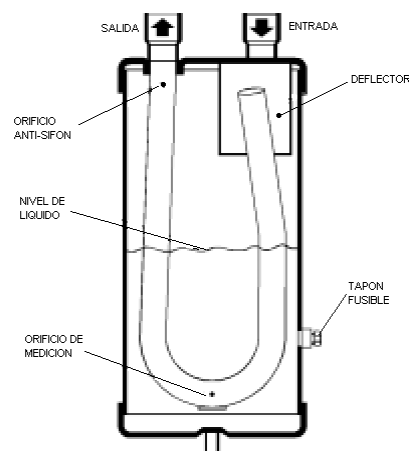


Fig. 2.23 Acumulador de succión

2.2.4.12 Visor o mirilla

De manera práctica diremos que es una “ventana” que tenemos en el circuito instalado en la línea de líquido a continuación del filtro. A través del visor solo deberíamos ver el fluido 100% (saturado). Si, por ejemplo vemos burbujas, podría indicarnos que hace falta fluido refrigerante (poca carga, bien sea porque de origen no tiene la adecuada o por fugas posteriores) o bien, si hay burbujas y está frío, puede ser porque un estrangulamiento origina una expansión antes de llegar al visor. También nos indica si hay humedad en el circuito, ya que contiene una sal química higroscópica que reacciona con la humedad y cambia de color.

Por ejemplo, algunos fabricantes usan el color verde para indicar que el refrigerante no arrastra humedad (dry-seco) y el color amarillo para alertarnos que hay presencia de humedad (wet-humedo). [4]



Fig. 2.24 Indicador de líquido y humedad

2.2.4.13 Manómetros

Los manómetros, constituyen una herramienta principal del mecánico de servicio para comprobar el funcionamiento del sistema.

En todos los sistemas de refrigeración realmente existen 2 tipos de manómetros:

A continuación en las figuras se muestran los tipos de manómetros



Fig. 2.25 Manómetro de alta presión



Fig. 2.26 Manómetros de baja presión

Los manómetros de baja y alta presión permiten verificar que la maquina frigorífica se encuentre en un rango de presiones aceptable para el correcto funcionamiento.

2.2.4.14 Tubería

Las tuberías de refrigerantes apropiadas para la refrigeración es muy importante para el funcionamiento exitoso de nuestro sistema sobre todo en la tubería de descarga hay que tener un cuidado intenso ya que trabajamos a presión y temperatura elevada.

La tubería de cobre tiene gran ventaja de ser de peso ligero, resistente a la corrosión y de fácil instalación que el acero. La tubería de cobre vienen disponible en dos tipos: rígido o flexible. Ambos tipos de tuberías de cobre existen en el mercado en dos espesores distintos de pared, K y L. El tipo K es de pared gruesa, y el tipo L es de espesor mediano; siendo este ultimo el más utilizado en los sistemas de refrigeración.



Fig. 2.27 Tubería de cobre

Las funciones de la tubería frigorífica son básicamente dos:

- Proveer un medio de circulación del fluido refrigerante en el sistema.
- Proveer un medio de retorno al aceite que circula mezclado con el refrigerante, el cual debe regresar al compresor para cumplir sus objetivos como lubricante.

La distribución de la tubería en una instalación de expansión directa se dividen en:

- Tubería de gas caliente ubicada entre el compresor y el condensador.
- Tubería de líquido ubicada entre la salida del condensador y la válvula de expansión.
- Tubería de succión o aspiración ubicada entre el evaporador y el compresor.

Las velocidades del refrigerante recomendadas para el dimensionamiento de estas tuberías son:

- tubería de gas caliente: 15 a 25 m/s
- tubería de líquido: 0.5 a 1.25 m/s
- tubería de succión: 8 a 15 m/s

Cuando se dimensionan las tuberías de refrigerante es esencial tener presente los siguientes puntos:

Limitar la caída de presión del refrigerante en la tubería ya que esta caída de presión reduce la producción frigorífica y aumenta la potencia absorbida por cada frig./h suministrada; dimensionar de tal forma que se obligue al aceite que en pequeñas cantidades pero de manera continua abandona el compresor mezclado con gas comprimido, a volver de nuevo al mismo. El diámetro de la válvula de servicio del compresor o el diámetro de conexión del condensador no determina el diámetro de la tubería que debe usarse. [8]

Mediante la siguiente expresión se puede diseñar:

Tuberías de líquido:

$$V_l = \frac{\dot{m}}{(\rho_l \cdot A_t)} \quad (2.9)$$

Donde:

V_l : Velocidad del líquido refrigerante, [m/s].

\dot{m} : Flujo másico del refrigerante, [Kg/s].

ρ : Densidad del líquido refrigerante, [Kg/ m^3].

A_t : Área de la tubería, [m^2].

Tuberías de succión:

$$V_g = \frac{\dot{m}}{(\rho_g \cdot A_t)} \quad (2.10)$$

Donde:

V_g : Velocidad del vapor refrigerante, [m/s].

\dot{m} : Flujo másico del refrigerante, [Kg/s].

ρ_g : Densidad del vapor refrigerante, [Kg/ m^3].

A_t : Área de la tubería, [m^2].

2.3 Refrigerante R-404 A

2.3.1 Introducción

El R-404A es un refrigerante de tipo HFC formado por 3 componentes (R-125, R-143a y R-134a). Al ser un producto libre de cloro su ODP es cero, lo cual lo hace no dañino para la capa de ozono y lo convierte en un producto definitivo. [9]

Los refrigerantes tienen un código de colores para los cilindros de gases refrigerantes. **VER ANEXO 1.**

Es una mezcla pseudoazeotrópica, con un deslizamiento mínimo, pero aún así es recomendable cargar los equipos en fase líquida y prestar especial atención a las fugas de refrigerante, ya que en casos de fuga grande o varias repetidas será aconsejable la sustitución completa de la carga.

Refrigerante de alta seguridad reconocido por todos los fabricantes de equipos y componentes.

2.3.2 Propiedades físicas

En la siguiente tabla se puede observar las propiedades de refrigerante R-404 A

Tabla 2.1 Propiedades de Refrigerante R-404 A

Componentes		
HFC-125	Pentafluoroetano	44%
HFC-143a	1,1,1 trifluoroetano	52%
HFC-134a	1, 1,1,2 tetrafluoroetano	4%
Propiedades		
Unidades		
Fórmula molecular	- CHF ₂ CF ₃ /CH ₃ CF ₃ /CH ₂ FCF ₃	
Punto de ebullición	°C	-46,2
Densidad del líquido	kg/m ³	1034,7
Densidad del vapor saturado	kg/m ³	5,41
Temperatura crítica	°C	72,2
Presión crítica	Bar	37,2
Densidad crítica	kg/m ³	483,7
Deslizamiento de temperatura	°K	0,9
Calor latente de vaporización	kJ/kg	200,1
Calor específico		
Líquido	kJ/kg.K	1,64
Vapor	kJ/kg.K	0,88
Límite de inflamabilidad	% vol	Ninguno
Clasificación ASHRAE	-	A1/A1
ODP (Destrucción de ozono)		0
Todas las medidas son a 25°C y a 1,013 bar		

2.3.3 Aplicaciones

Es posible su utilización en varios segmentos.

Transporte refrigerado. Especialmente en equipos de congelación.

Refrigeración. Se utiliza en numerosas aplicaciones de refrigeración tanto comercial como industrial. En media, baja y muy baja temperatura.

Alta temperatura. Es posible su uso en enfriadoras de agua y de agua glicolada.

Posible reconversión de equipos con R-22 y R-502 existentes. Requiere cambios en la instalación, consultar con el fabricante del sistema

El producto es compatible con la mayoría de materiales utilizados en la actualidad, pero de todos modos se debe consultar con el fabricante de los sistemas por si hubiera algún producto a considerar.

2.3.4 Lubricantes

El R-404A requiere la utilización de lubricantes sintéticos del tipo POLIOL-ESTER (POE), no siendo miscible con los aceites minerales utilizados con CFC's y HCFC's. [10]

Se debe consultar con el fabricante del sistema cual es el lubricante adecuado para su equipo. Una característica importante a tener en cuenta es la alta higroscopicidad de estos aceites.

Los aceites sintéticos se obtienen a partir de reacciones químicas

2.3.5 Seguridad

Toxicidad. Producto de baja toxicidad, por lo que se puede utilizar de forma segura en las aplicaciones a las que está destinado. Clasificado A1.

Inflamabilidad. Producto no inflamable según la norma ASHRAE 34, a 1 atmósfera y a 18 °C.

Hay que prestar atención a las mezclas refrigerante aceite que sí podrían resultar inflamables.

Altas temperaturas pueden ocasionar la descomposición del producto.

Fugas. En caso de producirse una fuga importante de R-404A es recomendable evacuar el recinto y ventilarlo bien. Los vapores son más pesados que el aire y producen un desplazamiento de oxígeno.

Detección de fugas

Se deben utilizar detectores adecuados para estos productos sin cloro, como son los detectores por diodo de platino o los que utilizan marcadores fluorescentes

2.4 Aislamiento térmico

2.4.1 Introducción

Un **aislante térmico** es un material usado en la construcción y caracterizado por su alta resistencia térmica. Establece una barrera al paso del calor entre dos medios que naturalmente tenderían a igualarse en temperatura. [11]

La espuma de poliuretano es conocida por ser un material aislante de muy buen rendimiento. Su aplicación se puede realizar desde la parte inferior o bien desde la parte superior.

2.4.2 Propiedades

Tabla 2.2 Propiedades del aislamiento térmico poliuretano expandido

<ul style="list-style-type: none">• Densidad: 30-80 kg/m³
<ul style="list-style-type: none">• Resistencia a compresión: 200 N/mm²
<ul style="list-style-type: none">• Conductividad térmica: 0,020 W/m·K
<ul style="list-style-type: none">• Retardo de llama: B1*
<ul style="list-style-type: none">• Coeficiente de fricción: $\mu=0,0135$
<ul style="list-style-type: none">• T^a de trabajo: -50 a 80 °C
<ul style="list-style-type: none">• Humedad: 0 % a 100%
<ul style="list-style-type: none">• Presión dentro del conducto: -2000 a +2000
<ul style="list-style-type: none">• Ensayo con norma DIN4102: difícilmente inflamable

2.4.3 Química del poliuretano

El poliuretano es por lo general la mezcla de dos componentes o sistema bicomponente, el A y el B, en una proporción estequiométrica definida por el químico que diseña la fórmula.

Componente A

Consiste en el Polioli: una mezcla cuidadosamente formulada y balanceada de glicoles (alcoholes de elevado peso molecular). Se encuentran en mezcla con agentes espumantes y otros aditivos tales como aminas, siliconas, agua, propelentes y catalizadores organometálicos; condicionan la reacción y dan las características a la espuma final. La apariencia es como miel viscosa y puede tener un fuerte olor amoniacal.

Componente B

El componente B es una mezcla de isocianatos, a veces prepolimerizados (pre-iniciado), con un contenido de grupos NCO que puede variar desde el 18 al 35% en funcionalidad. Algunos son de color café, muy viscosos (3000-5000 cps-Viscosímetro), y otros son casi transparentes y fluidos. En ocasiones son mantenidos en atmósfera seca de nitrógeno. Tienen además propiedades adhesivas muy apreciadas, por lo que también sirven de aglomerantes para fabricar bloques poli-material.

2.4.4 Reactividad

La reactividad se puede observar en una simple inspección visual y, en el caso de las espumas, está dividida en los siguientes tiempos, medidos en segundos:

Tabla 2.3 Tiempo de reactividad del aislamiento

<ul style="list-style-type: none">• Tiempo de crema: 5-15 s. Formación de monómeros y polímeros.
<ul style="list-style-type: none">• Tiempo de hilo: 30-70 s. Estructuración, formación de redes cristalinas.
<ul style="list-style-type: none">• Tiempo de subida: Finalización de la expansión.
<ul style="list-style-type: none">• Tacto libre: 10-50 s. Formación de piel, finalización de la reacción. La superficie del material deja de ser adhesiva.

Al terminar la reacción química, la espuma de poliuretano contiene millones de celdas irregulares, que -según sea la formulación usada- son las que al final le dan las características de aislamiento térmico, resiliencia, acústicas, etc.

El principal mercado para el poliuretano rígido es la industria del aislamiento térmico (refrigeradores, etc.); en segundo lugar, las industrias de los poliuretanos flexibles (colchones, asientos, etc.).

Tabla 2.4 Comparación del coeficiente de conductividad térmica entre diferentes materiales:

MATERIAL	DENSIDAD (kg/m³)	CONDUCTIVIDAD TERMICA (W/m·K)
Chapa de Aluminio	2.700	2,04
Hormigón	2.400	1,63
Vidrio plano	2.500	0,81
Ladrillo macizo	1.600	0,81
Tejas (plana)	1.800	0,76
Yeso placas	1.000	0,44
Hormigón liviano	1.000	0,36
Nieve compactada	300	0,23
Madera (pino)	700	0,17
Lana de vidrio	11	0,041
Lana de vidrio	15	0,038
Lana de vidrio	35	0,038
Lana de vidrio	50	0,032
Lana de vidrio	70	0,031
Lana de vidrio	100	0,032
Poliuretano rígido	30	0,020

Poliuretano proyectado	30	0,024
------------------------	----	-------

Fuente: Norma IRAM 11601. (Argentina) [12]

Los materiales aislantes deben tener un bajo coeficiente de conductividad térmica, es decir, mientras más bajo sea este valor, mejor aislante será.

Para nuestro sistema se ha seleccionado aislar las paredes, techo, piso de la cámara de conservación con el **POLIURETANO EXPANDIDO (rígido)**, con esta selección se va a obtener una eficiente barrera al paso de calor.



Fig. 2.28 Poliuretano expandido

2.5 Sistema de control

Un sistema de control puede definirse como un ente que recibe unas acciones externas o variables de entrada, y cuya respuesta a estas acciones externas son las denominadas variables de salida. [13]

Las acciones externas al sistema se dividen en dos grupos, variables de control, que se pueden manipular, y perturbaciones sobre las que no es posible ningún tipo de control.

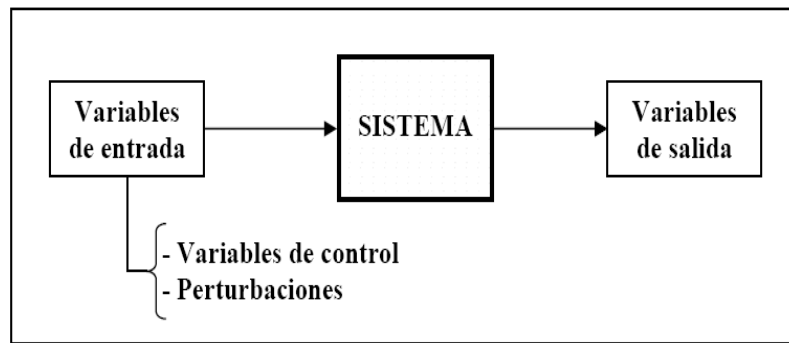


Fig. 2.29 Esquema general de un sistema

Dentro de los sistemas se encuentra el concepto de sistema de control. Un sistema de control es un tipo de sistema que se caracteriza por la presencia de una serie de elementos que permiten influir en el funcionamiento del sistema. La finalidad de un sistema de control es conseguir, mediante la manipulación de las variables de control, un dominio sobre las variables de salida, de modo que estas alcancen unos valores prefijados (consigna).

Un sistema de control ideal debe ser capaz de conseguir su objetivo cumpliendo los siguientes requisitos:

1. Garantizar la estabilidad y, particularmente, ser robusto frente a perturbaciones y errores en los modelos.
2. Ser tan eficiente como sea posible, según un criterio preestablecido.

Normalmente este criterio consiste en que la acción de control sobre las variables de entrada sea realizable, evitando comportamientos bruscos e irreales.

3. Ser fácilmente implementable y cómodo de operar en tiempo real con ayuda de un ordenador.

Los elementos básicos que forman parte de un sistema de control y permiten su manipulación son los siguientes:

- **Sensores.** Permiten conocer los valores de las variables medidas del sistema.
- **Controlador.** Utilizando los valores determinados por los sensores y la consigna impuesta, calcula la acción que debe aplicarse para modificar las variables de control en base a cierta estrategia.

- **Actuador.** Es el mecanismo que ejecuta la acción calculada por el controlador y que modifica las variables de control.

Los sistemas de control se pueden clasificar en:

- **Sistema de control de lazo abierto**

En un sistema en el cual la variable controlada y manipulada no interactúan entre sí, es decir, no se mide la salida ni se realimenta para compararlo con la entrada.

- **Sistema de control lazo cerrado**

Son aquellos sistemas de control realimentados. En un sistema de control lazo cerrado, se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación, con el fin de reducir el error y llevar a la salida del sistema a un valor deseado.

2.5.1 Control automático

El objetivo primordial de la tecnología de control automático es mantener constante una variable en particular, tomando también en cuenta posibles perturbaciones, con el uso de servocontroles.

Elementos usados en control automático y automatización:

Microcontroladores. Ejemplos: PIC, PLC. Sin que intervenga el hombre.

Sensores: Elemento de medición.

2.5.2 Controladores lógicos programables (plc).

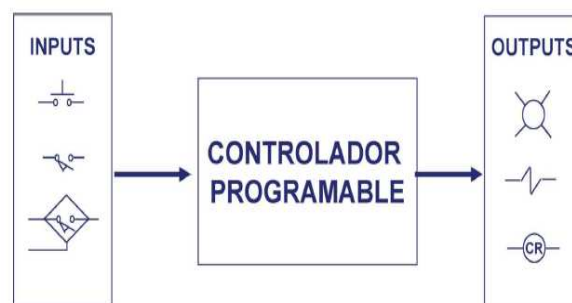


Fig.2.30 Controladores lógicos programables

Un **controlador programable** es un sistema de control de estado sólido que monitorea el estado de dispositivos como son los inputs. Controla el estado de los dispositivos conectados como outputs.

Concepto de PLC

Es un equipo electrónico, programable, diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente de tipo industrial procesos secuenciales.

¿Para qué sirve un PLC?

Existen tres lógicas para realizar circuitos de control automático:

Lógica cableada (Eléctrica, cables, contactores, relees).

Lógica Integrada (Electrónica, circuitos integrados).

Lógica con software (PLC).

Características de los PLC's

- Es compacto
- Resistente a condiciones industriales
- Son de fácil maniobrabilidad
- Se puede cambiar fácilmente de control sin necesidad de cambiar conexiones
- Son rápidos
- Pueden ser monitoreados

Módulo de entrada

- Todo PLC tiene un modulo de entradas.
- Por el recibe las señales de las condiciones físicas que controla.
- A él se conectan los sensores, finales de carrera, presostatos, etc.

Dispositivos de entrada

- Botones Switches de selección.
- Switches de nivel
- Sensores de nivel
- Sensores de Temperatura.
- Pulsadores ON, OFF.



Fig.2.31 Dispositivos de entrada

Módulo de salida

- Todo PLC tiene un modulo de salida.
- Por el envía señales a los actuadores del proceso que controla.

- A él se conectan, señales luminosas, motores, relees, válvulas, etc.

Dispositivos de salidas

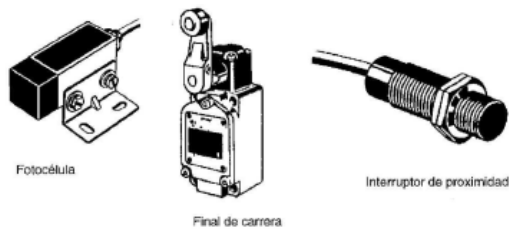
- Válvulas
- Motores
- Motores de Paso
- Solenoides
- Control Relees
- Alarmas
- Luces
- Ventilador
- Hornos



Fig.2.32 Dispositivos de salida

Dispositivos de E/S

El PLC recibe señales de entrada tales como, pulsadores, teclados, selector de procesos, señales de temperatura.



El PLC activa mediante su salida, válvulas, solenoides, contactores, indicadores luminosos.

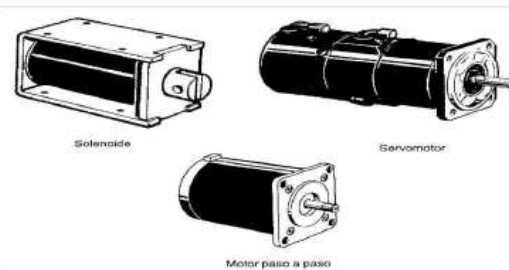


Fig.2.33 Dispositivos de E/S

Cableado de las entradas

En el gráfico siguiente se puede observar cómo deben cablearse los diferentes dispositivos de entrada.

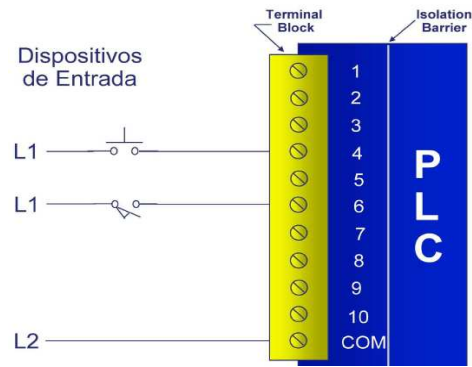


Fig.2.34 Cableado de las entradas

Cableado de salidas

El cableado de las salidas se deben realizar de la siguiente manera como se indica en el grafico.

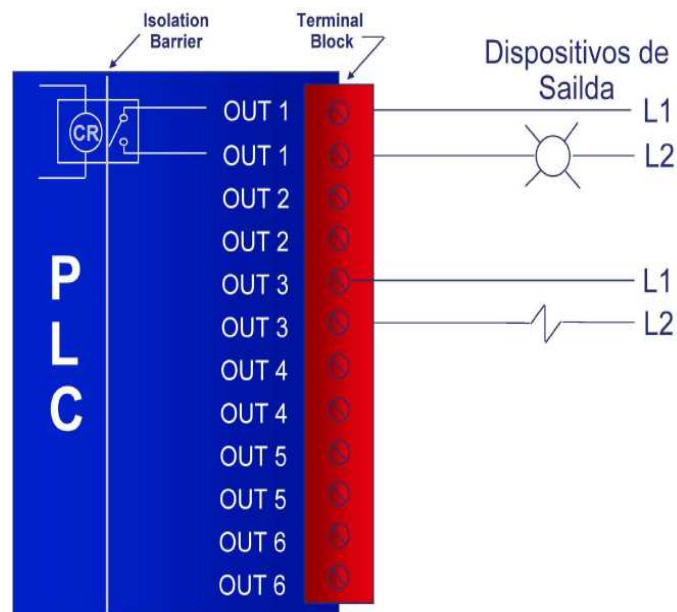


Fig.2.35 Cableado de salidas

CPU

- Es el modulo principal, es el cerebro del PLC.
- En él se encuentra los diferentes tipos de memoria.
- En él se encuentra el programa de control.

Módulo de Programación

- Sirve para ingresar el programa de control
- Puede ser integrado al PLC o externo
- Puede utilizarse en muchos PLC a una computadora como modulo de programación.

Periféricos

- **Display.-** Sirve para observar el programa o monitorear el mismo.
- No todos los PLC disponen de display
- **Modulo de comunicaciones.-** Sirve para comunicarse entre PLC o entre PLC y computadora.

Tipos de señales

- Un PLC trabaja por lo general con dos tipos de señales tanto en las entradas como en las salidas:
- Señales digitales
- Señales analógicas

Señales Analógicas

- Son señales que pueden tomar un infinito número de valores en el tiempo comprendido entre dos límites un máximo y un mínimo.
- La señal es continua.

Señales Digitales

- Son señales que pueden tomar solo un determinado número de valores en el tiempo entre dos límites máximo y mínimo.
- La señal por tanto es por saltos y entre estos saltos no pueden tomar valores intermedios.

Resolución de una señal

- En realidad todo PLC trabaja con señales digitales.
- A las señales analógicas de entrada convierte internamente en una señal digital de diferentes resoluciones según la capacidad y tamaño del PLC.

Lenguajes de Programación

Así un PLC puede programarse en los siguientes lenguajes:

- FUP o diagrama de bloques.
- KOP o diagrama de contactos.
- AWL o lista de instrucciones. **[5]**.

CAPÍTULO III

3. DISEÑO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

3.1 Generalidades

El proyecto a ejecutar es un Sistema de Refrigeración, por compresión mecánica, para Laboratorio, el cual dispone de una cámara de conservación a una temperatura de 2°C.

Dentro de los parámetros de diseño se debe tener en cuenta los siguientes factores: ubicación, carga térmica de conservación, temperaturas de conservación y volumen de la cámara frigorífica.

3.2 Cálculo de cargas térmicas

El cálculo de la carga frigorífica de una cámara de refrigeración tienen por objeto la determinación de la cantidad de calor que es necesario extraer en un tiempo determinado, para crear y mantener en su interior la temperatura y humedad requerida.

Las cargas frigoríficas según ASHRAE son: [15]

1. Carga de transmisión.
2. Carga del producto.
3. Cargas por infiltraciones de aire.
4. Carga interna.
5. Carga de equipo

Las cuatro primeras cargas constituyen la carga neta de calor, que sumadas a la carga del equipo representa la carga frigorífica total, a la misma que se aplica un factor de seguridad del 10% para tener en cuenta posibles discrepancias entre los criterios de diseño y el funcionamiento real.

En refrigeración, la carga frigorífica se calcula para 24 horas y se toma de 16 a 18 horas diarias de operación del equipo para vencer dicha carga, dejando el resto de las horas del día para procesos de descarchado y como factor de reserva para cargas picos poco frecuentes. [1]

3.2.1 Carga de transmisión

La carga de transmisión de calor es la cantidad de calor ganado a través de las paredes, piso y techo por conducción. La ganancia de calor depende del tipo de construcción; diferencia de temperatura entre la temperatura interior y exterior de la cámara; el área de la superficie exterior y efectos de la radiación solar. [1]

La carga de transmisión se obtiene mediante la siguiente ecuación básica:

$$q_t = U * A * \Delta T \quad (3.1)$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{e}{k} + \frac{1}{h_o}} \quad (3.2)$$

Donde:

q_t : Carga térmica por transmisión en, [Btu/h].

U: Coeficiente global de transferencia de calor en, [Btu/h $ft^2 * ^\circ F$].

A: Superficie de transferencia de calor en, [ft^2].

ΔT : Diferencias de temperatura de diseño entre el ambiente externo y la temperatura interna que se desea mantener en $^\circ F$.

El coeficiente global de transferencia de calor depende de los materiales utilizados y se analiza mediante la siguiente ecuación:

$$U = \frac{1}{\frac{e_1}{k_1} + \frac{1}{h_e} + \frac{e_2}{k_2} + \frac{1}{h_i} + \frac{e_3}{k_3}} \quad (3.3)$$

Donde:

e_1 : Espesor de la pared 1 en, [ft]

k_1 : Coeficiente de conductividad térmica del material 1 en, [Btu/h $ft * ^\circ F$]

h_e : Coeficiente de transferencia por convección exterior en, [Btu/h $ft^2 * ^\circ F$]

e_2 : Espesor de la pared 2 en, [ft]

k_2 : Coeficiente de conductividad térmica del material 2 en, [Btu/h $ft \cdot ^\circ F$]

h_i : Coeficiente de transferencia por convección interior en, [Btu/h $ft^2 \cdot ^\circ F$]

e_3 : Espesor de la pared 3 en, [ft]

k_3 : Coeficiente de conductividad térmica del material 3 en, [Btu/h $ft \cdot ^\circ F$]

Para determinar la carga térmica por transmisión es necesario obtener los siguientes datos según los requerimientos del sistema, es decir en donde va a ser instalado, nuestro sistema va a ser instalado en la ESPOCH, en la **FACULTAD DE MECÁNICA**.

A continuación presentamos los siguientes datos:

Tabla 3.1 Datos de la cámara de conservación

Temperatura externa $^\circ F$	71.6
Temperatura interna $^\circ F$	35.6
Dimensiones externas de la cámara (ft)	Largo 1.97 Ancho 3.28 Altura 2.62
Área externa ft^2	42.56
Volumen interno ft^3	5.70
Coeficiente global de tranf. de calor U BTU/(h.ft ² .°F)	0.04
Aislamiento poliuretano expandido espesor del material (ft)	0.38
Espesor de las paredes 1 y 2 material acero galvanizado (ft)	0,002953

Mediante la ecuación (3.1) se ha determinado el calor total a retirar de las paredes, piso y techo por conducción.

$$q_e = 61 \text{ BTU/h}$$

3.2.2 Carga del producto

Es la cantidad de calor sensible que debe ser retirado, del producto y del embalaje, las causas primarias que determinan la carga térmica del producto son: el calor necesario a extraer para reducir la temperatura del producto desde la inicial hasta la de almacenamiento. [6]

Mediante la siguiente expresión se determina la carga térmica del producto, esta ecuación también es válida para calcular el calor que debe ser retirado del embalaje:

$$Q_p = \frac{m \cdot C \cdot \Delta T}{t} \quad (3.4)$$

Donde:

Q_p : Carga térmica del producto en, [Btu/h].

m : Masa del producto en, [Kg].

C: Calor específico del producto (antes de congelación) en, [Btu/lb*°F].

ΔT : Diferencia de temperatura entre la temperatura de introducción T_i y la temperatura de conservación T_f en [°F]

t : Es el tiempo en el cual debe ser enfriado el producto en, [h].

El producto a conservar es agua, el mismo que tiene las siguientes propiedades:

Tabla 3.2 Producto a conservar agua

Volumen por cada botella	0,0005 m ³
Número de botellas	30 unidades
Densidad	998.6 kg/m ³
Volumen total de agua	0,015 m ³
C1 del agua	1 BTU/lb°F
C2 del vidrio	0,16 BTU/lb°F
Caudal másico ($\frac{m}{h}$)	17 lb/h

Cálculo de carga térmica del agua

Mediante la ec. (3.4) se obtiene el calor sensible a retirar desde la temperatura inicial hasta la temperatura del punto de conservación.

$$q_a = m \cdot C1 \text{ (Tex-Tin)}$$

$$q_a = 595 \text{ BTU/h}$$

Cálculo de carga térmica de la botella

$$q_b = m \cdot C2 \text{ (Tex-Tin)}$$

$$q_b = 95 \text{ BTU/h}$$

Finalmente se ha obtenido la carga total del producto a enfriar que es la más representativa dentro del sistema de conservación dando como resultado:

$$q_t = q_a + q_b$$

$$q_t = 690 \text{ BTU/h}$$

3.2.3 Carga por infiltración de aire

La infiltración de aire por puertas o aberturas en condiciones del ambiente exterior constituye una carga más para retirar a través del equipo de refrigeración. La cantidad de aire infiltrado se establece por estudios basados en la experiencia y se suelen expresar en cambios o renovaciones de aire por día. [1]

El cálculo se realiza mediante la siguiente expresión:

$$q_{ia} = V \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 \quad (3.5)$$

Donde:

V : Volumen de la cámara.

F_1 : Factor de uso. Depende de las actividades que se desarrollen en la cámara, para cámaras de poca actividad su valor está entre 1 y 1.5, para cámaras de frecuente actividad 2, cámaras de trabajo como embarcaciones, muelles etc. 2 a 4.

F_2 : Factor de cambios de aire en función del volumen de la cámara y la temperatura de conservación.

F_3 : Factor de renovación de calor necesario para enfriar el aire externo a la temperatura de la cámara, en [Kcal. / **m^3**]

Considerando que el sistema que estamos diseñando, para el Laboratorio se va a utilizar pocas veces, además es un sistema de refrigeración de pequeñas dimensiones por lo tanto asumimos que la carga térmica por infiltración de aire sea igual a cero.

$$\mathbf{q_{ia}=0 \text{ BTU/h}}$$

3.2.4 Carga interna

Toda energía eléctrica disipada en el espacio refrigerado como la iluminación y la permanencia de personas se convierten en calor y deben incluirse en la carga térmica. [1]

La carga promedio debida a la ocupación de una persona en un espacio refrigerado está determinada por:

$$q_p = 272 - 6t \quad (3.6)$$

Donde:

q_p : Calor específico por persona, [W]

t: temperatura de la cámara, [$^{\circ}C$]

Debido a que no existe iluminación ni la presencia de personas la carga interna es cero.

$$\mathbf{q_i=0 \text{ BTU/h}}$$

3.2.5 Carga de equipo

Es necesario compensar los aportes caloríficos proporcionados por el motor del ventilador del evaporador. Para nuestro caso utilizaremos un motor de 12W (0.01 HP) de potencia, considerando que requiere una suficiente ventilación (caudal de aire) y una velocidad de enfriamiento adecuada (presión de aire). [8]

La carga de equipo se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\mathbf{q_{im}=EC*Hp} \quad (3.7)$$

Donde:

EC: Es el equivalente calorífico en, [Kcal/h*Hp] según tabla 4.

Hp: Es la potencia del motor eléctrico

Tabla 3.3 Equivalente calorífico de motores eléctricos KCAL/Hp*hr . [14]

Hp del motor	Carga conectada en el espacio refrigerado	Pérdidas del motor fuera del espacio refrigerado	Carga conectada fuera del espacio refrigerado
1/8 a 1/2	1,071.00	641.34	428.40
1/2 a 3	932.40	641.34	289.80
3 a 20	743.46	641.34	100.80

Para nuestro caso realmente la potencia del motor del ventilador es muy pequeña por lo tanto no es considerable el aporte calorífico por equipos por lo tanto es cero.

$$q_{eq} = 0 \text{ BTU/h}$$

Cálculo de la carga térmica total

A continuación en la siguiente tabla presentamos el resumen total de la carga térmica.

Tabla 3.4 Resumen de la carga térmica total

CARGA	BTU/h	TIEMPO FUNCIONAMIENTO	TOTAL BTU/día
Por transmisión	61	24	85
Por producto	690	24	16560
Por infiltración aire	-	-	-
Interna	-	-	-
Equipo	-	-	-
TOTAL			16645

Para poder identificar la carga térmica más representativa de nuestro sistema ponemos a consideración el siguiente gráfico en 3D.

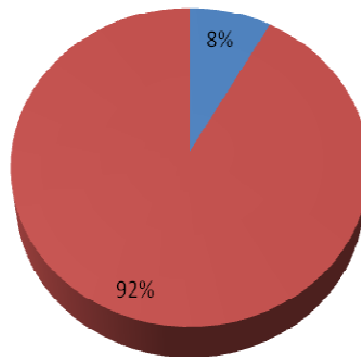


Fig. 3.1 Resumen en % de la carga térmica

En el gráfico se puede observar cómo está distribuido la carga térmica de nuestro sistema:

- Con un **92%** la **CARGA TÉRMICA por producto**, esto quiere decir que es la más representativa dentro de los sistemas de refrigeración.
- Además tenemos un **8%** la **CARGA TÉRMICA por transmisión**.

Realmente los sistemas de refrigeración no trabajan las 24 horas, siempre necesitan un tiempo para realizar actividades tales como, en el caso de congelación un tiempo de descarchado o a su vez para realizar cualquier tipo de mantenimiento.

A continuación presentamos la carga térmica total de diseño con la que se va a trabajar.

Carga térmica total BTU/día	Total de funcionamiento 16h 18h 20h 22h 24h	Factor de seguridad	Total final BTU/h	KW
16645	925	1.1	1018	0.30

La carga térmica total es de:

$q_{total} = 0.30 \text{ KW}$

3.3 Dimensionamiento de tuberías de alta y baja presión

Cuando se dimensionan las tuberías de refrigerante es esencial tener presente los siguientes puntos

Limitar la caída de presión del refrigerante en la tubería ya que esta caída de presión reduce la producción frigorífica y aumenta la potencia absorbida por cada Frig./h suministrada; dimensionar de tal forma que se obligue al aceite que en pequeñas cantidades pero de manera continua abandona el compresor mezclado con gas comprimido, a volver de nuevo al mismo.

3.3.1 Dimensionamiento de la tubería de alta presión

El diseño de estas tuberías debe ser cuidadosamente estudiado de tal manera que se elimine la posibilidad de que llegue refrigerante líquido al compresor y asegure el retorno del aceite desde el evaporador al compresor.

$$A = \dot{m} / \rho v \quad (3.8)$$

$$A = \pi r^2 \quad (3.9)$$

Donde:

A: área de transferencia, $[ft^2]$

\dot{m} : Flujo másico [Kg/s].

ρ : Densidad [Kg/ m^3].

V_g : Velocidad [m/s]

Para determinar el diámetro de la tubería se requiere los siguientes datos:

$$\dot{m} = 0.0025729 \text{ [Kg/s].}$$

$$\rho = 26.73 \text{ [Kg}/m^3\text{].}$$

$$V_g = (8 - 15) \text{ m/s}$$

Mediante la ecuación (3.9) y (3.10) se determina el diámetro de la tubería a utilizar el mismo que es de:

$$\varnothing = 3/8 \text{ in}$$

3.3.2 Dimensionamiento de la tubería de baja presión

La principal preocupación es limitar la caída de presión de manera que no se produzca una evaporación parcial del refrigerante antes de llegar a la válvula de expansión. Para un funcionamiento adecuado del sistema es necesario que el líquido a la salida del condensador se encuentre ligeramente sub enfriado entre 1°C y 3°C y es dicho sub enfriamiento el que condiciona en la práctica la caída de presión aceptable en las tuberías de líquido.

Igual que la anterior es necesario los siguientes datos para el dimensionamiento:

$$\dot{m} = 0.00274443 \text{ [Kg/s]}.$$

$$\rho = 1009.13 \text{ [Kg/m}^3\text{]}.$$

$$V_L = (0.5 - 1.25) \text{ m/s}$$

Mediante la ecuación (3.9) y (3.10) se determina el diámetro de la tubería a utilizar el mismo que es de:

$$\varnothing = \frac{1}{4} \text{ in}$$

3.4 Cálculo del ciclo de refrigeración

3.4.1 Refrigerante R-404 A

El refrigerante que se va a utilizar es el refrigerante R-404 A, que utilizo la tesis realizada anteriormente en la cámara de congelación.

En nuestro caso es un sistema de refrigeración para conservación, por lo tanto es recomendado este refrigerante. **VER ANEXO 2.**

3.4.2 Determinación de la temperatura de evaporación

Para determinar la temperatura de evaporación del refrigerante se debe tener en cuenta los siguientes parámetros: Temperatura de la cámara, la humedad relativa deseada en el espacio refrigerado, la diferencia de temperatura entre el evaporador y el espacio refrigerado (DT) como

se indica en la tabla y el tipo de evaporador que se va a utilizar en nuestro caso vamos a utilizar un evaporador enfriados de aire a circulación forzada.

$$T_{evap}=T_R-D_T \qquad (3.11)$$

Donde:

T_{evap} : Temperatura de evaporación.

T_R : Temperatura del espacio refrigerado.

D_T : Diferencia de temperatura entre el evaporador y espacio refrigerado.

La humedad relativa deseada en el espacio refrigerado es del 90%, entonces DT según la tabla es de 10°F. [3]

Tabla 3.5 Diferencia de temperatura entre el evaporador y el espacio refrigerado

DT		
Humedad Relativa	Convección Natural	Convección Forzada
%	°F	°F
95 - 91	12 - 14	8 – 10
90 - 86	14 - 16	10 – 12
85 - 81	16 - 18	12 – 14
80 - 76	18 - 20	14 – 16
75 - 70	20 - 22	16 – 18

Por lo tanto:

$$T_{evap} = 35.6^{\circ}\text{F}-10^{\circ}\text{F}$$

$$T_{evap} = 25.6^{\circ}\text{F} \; (-4^{\circ}\text{C}).$$

$$T_{evap}=T_1$$

3.4.3 Determinación de la temperatura de condensación

Para determinar la temperatura de condensación se debe tener en cuenta el tipo de condensador que se va utilizar en nuestro caso se va a utilizar la unidad condensadora de la tesis anterior, el cual el condensador es enfriado por aire forzado por un ventilador impulsado por un motor eléctrico.

En la práctica, se adopta una diferencia de temperatura de 10°C a 15°C , entre la temperatura promedio del aire y la temperatura de condensación del refrigerante cuando se trata de condensadores enfriados por aire.

$$T_{cond} = T_m + \Delta T \quad (3.12)$$

Donde:

T_{cond} : Temperatura de condensación del refrigerante.

T_m : Temperatura del medio ambiente.

ΔT : Incremento de temperatura.

Por lo tanto:

$$T_{cond} = 22^{\circ}\text{C} + 10^{\circ}\text{C}$$

$$T_{cond} = 32^{\circ}\text{C} \quad (89.6^{\circ}\text{F})$$

$$T_{cond} = T_3$$

3.4.4 Trazado del ciclo teórico de refrigeración

Determinado las temperaturas de evaporación y de condensación del sistema; en la tabla de propiedades de la línea de saturación, para el refrigerante ecológico R-404A, se determina las presiones de saturación, de evaporación y condensación. **ANEXO 3.**

$$T_{evap} = 0.50\text{MPa} \quad (72.5 \text{ psia})$$

$$T_{evap} = 1.50\text{MPa} \quad (217.5 \text{ psia})$$

Por lo tanto:

La relación de compresión para nuestro sistema de refrigeración tiene el siguiente valor:

P_{cond} = presión a la temperatura de condensación

P_{evap} = presión a la temperatura de evaporación

γ = relación de compresión.

$$\gamma = \frac{P_{cond}}{P_{evap}} \quad (3.13)$$

$$\gamma = 3$$

Para trazar el ciclo de refrigeración del sistema, hay que señalar los siguientes puntos:

-Utilizaremos el diagrama Presión – Entalpia del refrigerante seleccionado R-404 A, cuya presión está en unidades MPa, y la entalpia está en unidades KJ/Kg. **ANEXO 4**.

-Se utilizara un compresor, es decir, se realizara una sola compresión para conseguir un rendimiento de energía (electricidad) óptimo, y una instalación sencilla.

-El compresor estará conectado a los dos evaporadores en un mismo sistema.

-La temperatura de condensación es de 32°C, y la temperatura de evaporación es de -4°C.

En el diagrama presión-entalpia, para el refrigerante ecológico R-404A, el ciclo empieza en el punto de estado 1, considerando que en la entrada del compresor el vapor se encuentra como vapor saturado cuyas propiedades son las siguientes:

$$P_1 = P_{evap}$$

$$T_1 = T_{evap}$$

$$h_1 = 363.7 \text{ KJ/Kg}$$

En el punto de estado 1 inicia del ciclo, el refrigerante se comprime, considerando que es un proceso isentrópico e ideal, siguiendo la línea correspondiente a la entropía intersecamos con la temperatura de condensación y determinamos el punto de estado 2 en este caso el vapor se encuentra como vapor recalentado cuyas propiedades son las siguientes:

$$P_2 = P_{cond}$$

$$T_2 = 35^{\circ}\text{C} \text{ (95}^{\circ}\text{F)}$$

$$h_2 = 384 \text{ KJ/Kg}$$

Luego de ser comprimido el refrigerante, el mismo pasa por el condensador a presión constante, perdiendo su calor latente de evaporación y cambia su fase de estado gaseoso a estado líquido sale como líquido saturado, siguiendo la línea de presión del condensador y la temperatura de condensación intersecamos y determinamos el punto de estado 3 cuyas propiedades son las siguientes:

$$T_3 = T_{cond}$$

$$P_3 = P_{cond}$$

$$h_3 = 245 \text{ KJ/Kg}$$

Al salir del punto de estado 3, el refrigerante sale como líquido saturado se realiza un proceso de expansión, la presión desciende a entalpía constante, hasta alcanzar la condición de mezcla entre líquido-vapor a la entrada del evaporador en el punto de estado 4, cuyas propiedades son las siguientes:

$$T_4 = T_{evap}$$

$$P_4 = P_{evap}$$

$$h_4 = h_3$$

3.4.5. Cálculo de los parámetros del ciclo teórico de refrigeración

- Coeficiente de funcionamiento del Refrigerador de Carnot , de la **Ec.(2.1)**

$$\text{C.O.P} = 7.5$$

- Trabajo de compresión, de la **Ec.(2.2)**

$$W_c = 20.3 \text{ KJ/Kg}$$

- Calor total cedido por el refrigerante al medio condensante, de la **Ec.(2.3)**

$$q_e = 139 \text{ KJ/Kg}$$

- Efecto refrigerante, de la Ec.(2.4)

$$q_o = 118.7 \text{ KJ/Kg}$$

- Flujo másico, de la Ec.(2.5)

$$\dot{m} = 0.15 \text{ Kg/minuto}$$

- Coeficiente de funcionamiento, de la Ec.(2.6)

$$COP_r = 5.85$$

- Potencia teórica, de la Ec.(2.7)

$$P = 51.3 \text{ W}$$

- Eficiencia teórica del ciclo de refrigeración, de la Ec.(2.8)

$$\eta = 78.21\%$$

3.4.6 Trazado del ciclo real de refrigeración

Considerando un incremento de temperatura de 10°F debido al recalentamiento del fluido refrigerante al pasar por el evaporador y la tubería de succión las propiedades del punto de estado 1' son:

$$T_{1'} = 2^\circ\text{C}$$

$$P_{1'} = P_{\text{evap}}$$

$$h_{1'} = 370 \text{ KJ/kg}$$

La caída de presión debido a la fricción entre el flujo del vapor y la tubería, accesorios se considera 0.028MPa (4psia), entonces las propiedades del punto de estado a son:

$$T_a = 1^\circ\text{C} (34^\circ\text{F})$$

$$P_a = 0.47 \text{ KJ/kg}$$

$$h_a = h_{1'}$$

El refrigerante tiene un aumento de temperatura de 12°F , debido al contacto con las paredes del cilindro, por lo tanto las propiedades del punto de estado b son:

$$T_b = 8 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$P_b = P_a$$

$$h_b = 376 \text{ KJ/kg}$$

Para determinar la presión de descarga se considera una caída de presión en la línea de descarga de 0.028 MPa (4psia) por lo tanto:

$$P_{cond} = P_{des} - \Delta P_{des}$$

Donde:

P_{cond} : Presión de condensación.

P_{des} : Presión de descarga.

ΔP_{des} : caída de presión en la línea de descarga.

$$P_{des} = 1.53 \text{ MPa.}$$

En el diagrama presión-entalpia partiendo del punto b, considerando un proceso isentrópico intersecamos con la presión de descarga, se encuentran las propiedades del punto de estado c que son:

$$P_c = 1.53 \text{ MPa}$$

$$T_c = 50^{\circ}\text{C}$$

$$h_c = 400 \text{ KJ/kg}$$

En el ciclo real de refrigeración, el proceso de compresión es isoentálpico no es isentrópico por lo que se considera una desviación del 30%, desplazándose hacia la derecha, entonces las propiedades del punto de estado c' son:

$$T_{c'} = 55^{\circ}\text{C}$$

$$P_{c'} = P_c$$

$$h_{c'} = 405 \text{ KJ/kg}$$

Desde el punto de estado c' cae la presión hasta la de condensación a entalpia constante, debido a la apertura de la válvula de descarga, punto de estado 2':

$$T_{2'} = 56^{\circ}\text{C}$$

$$P_2 = P_{\text{cond}}$$

$$h_2 = h_c$$

Luego de este proceso el punto de estado 3 se desplaza hacia la zona de líquido subenfriado, considerando que el líquido está temporalmente almacenado en el condensador o en el recipiente por que produciría una disminución de temperatura de al menos 5°C entonces el punto de estado 3' es el siguiente:

$$T_3 = 25^{\circ}\text{C}$$

$$h_3 = 236 \text{ KJ/kg}$$

3.4.7. Cálculo de los parámetros del ciclo real de refrigeración

- Coeficiente de funcionamiento del Refrigerador de Carnot , de la **Ec.(2.1)**

$$\text{C.O.P} = 8.2$$

- Trabajo de compresión, de la **Ec.(2.2)**

$$W_c = 29 \text{ KJ/Kg}$$

- Efecto refrigerante, de la **Ec.(2.4)**

$$q_o = 140 \text{ KJ/Kg}$$

- Coeficiente de funcionamiento, de la **Ec.(2.6)**

$$\text{COP}_r = 4.8$$

- Eficiencia real del ciclo de refrigeración, de la **Ec.(2.8)**

$$\eta = 58\%$$

ANEXO 5, diagrama del ciclo real de refrigeración.

3.5 Selección de equipos y accesorios

3.5.1 Capacidad de la unidad condensadora

Para nuestro sistema se va utilizar la unidad condensadora de la tesis anterior cuya capacidad es de 1.2 KW, en la cámara de congelación se utilizo 0.51 KW, quedando 0.7 KW para completar el banco de refrigeración en nuestro sistema se va a necesitar 0.30 KW.

La capacidad total del sistema de ambas cámaras tanto de congelación como de conservación es de 0.81 KW.

La unidad condensadora se elige en función de los siguientes parámetros:

- Refrigerante a utilizar: R 404 A.
- Capacidad frigorífica requerida: 0.30 KW.
- Temperatura de evaporación: -4°C .
- Temperatura ambiente: 22°C .



Fig. 3.2 Unidad condensadora marca TECUMSEH, modelo UAKL26ZS

3.5.2 Selección del evaporador

Para la selección del evaporador son necesarios los siguientes parámetros:

- Capacidad del sistema: 0.30 KW
- Temperatura de evaporación: -4°C
- Tipo de descarche: sin descarche

En función de los parámetros antes mencionados se ha seleccionado un evaporador Modelo EM-SRD-1 marca Thermo-Coil. **ANEXO 6.**



Fig. 3.3 Evaporador aletado de aire forzado

3.5.3 Selección de la válvula de expansión

La selección de la válvula de expansión se realiza en función de los siguientes parámetros determinados:

- Refrigerante a utilizar : R 404 A
- Capacidad del sistema : 0.30 KW
- Presión de evaporación : 0.50 MPa
- Presión de condensación : 1.50 MPa
- Caída de presión a través de la válvula : 1 MPa
- Igualación de presión : interna

En función de los parámetros anteriores se ha seleccionado la siguiente válvula:

MARCA DANFOSS, modelo TS 2-0.11. Gama N **ANEXO 7.**



Fig. 3.4 Válvula de expansión DANFOSS, modelo TS2-0.11

Nomenclatura:

Gama N

TS2 = válvula de expansión termostática ecualizador interno.

0.11= orificio de la válvula de expansión.

3.5.4 Selección de la válvula solenoide

La selección de la válvula solenoide está en función del diámetro de la tubería para nuestro sistema se ha empleado la válvula marca DANFOSS, modelo EVR-3 y una bobina marca DANFOSS modelo IP -67. **ANEXO 8.**



Fig. 3.5 Válvula solenoide DANFOSS EVR-3

3.5.5 Selección de válvula de paso

La válvula de paso se selecciona en función del diámetro de tubería de alta y de baja y a su vez si desea roscada o soldada.

Para nuestro sistema se ha seleccionado las siguientes válvulas, marca DANFOSS, modelo BML-6 y BML-10. **ANEXO 9.**



Fig. 3.6 Válvula de paso DANFOSS, modelo BML-10

3.5.6 Selección de manómetros

La selección de los manómetros de alta y de baja están en función de la presión de funcionamiento del sistema de refrigeración los manómetros que se va a utilizar tienen la siguiente característica, marca REFCO escala en psi y en bar. **ANEXO 10.**



Fig. 3.7 Manómetros de Baja y Alta, marca REFCO

3.5.7 Selección de la válvula reguladora de presión de evaporación

La válvula reguladora de presión de evaporación se selecciona en función del diámetro de la tubería y a su vez a las necesidades de cada caso respecto a las regulaciones de presión.

Para nuestro sistema se ha seleccionado la siguiente válvula, marca SPORLAN, modelo ORIT -6 posee un rango de graduación que va desde 0 a 3.5 bar (0 a 50 psig) que es lo adecuado para nuestro caso, a su vez se puede decir que son las más pequeñas que existen en el mercado. **ANEXO 11.**



Fig. 3.8 Válvula reguladora de presión de evaporación, marca SPORLAN, modelo ORIT6

3.5.8 Conexiones de bronce y cobre

Las conexiones de bronce y cobre han sido desarrolladas para su utilización en los sistemas de refrigeración, especialmente para las conexiones con las tuberías de cobre. Para garantizar el sellado entre la conexión macho y la tuerca, se requiere una correcta expansión de la tubería de cobre. La selección está en función del diámetro de la tubería. **ANEXO 12.**



Fig. 3.9 Conexiones de bronce.

3.5.9 Selección del control programable de temperatura

El control programable de temperatura se seleccionarse de acuerdo a los rangos de temperatura a utilizarse en el sistema. Este tipo de control nos permite controlar temperaturas de conservación, es decir es un controlador de temperatura específicamente para conservación.

Para la selección del controlador programable de temperatura se requiere de los siguientes parámetros:

- Temperatura mínima de la cámara de conservación: 2 °C.
- Temperatura máxima de la cámara de conservación: 5 °C.
- Voltaje del sistema: 220V.

En el banco de conservación se utiliza un control programable de temperatura marca Full Gauge modelo MT-512Ri. **ANEXO 13.**



Fig. 3.10 Control programable de temperatura, marca Full Gauge mode MT-512Ri

3.5.10 Selección del sifón

El sifón se selecciona en función del diámetro de la tubería y a su vez es necesaria su instalación ya que de esta manera se evita que si hay aceite circulando en el sistema se quede en este tramo ya que esa es la función que realiza dicho elemento. **ANEXO 14.**



Fig. 3.11 Sifón o trampa

3.5.11 Selección de la tubería

Para la selección de la tubería hay que tener en cuenta los siguientes parámetros:

Diámetro de la tubería: 3/8 in para la línea de líquido

Diámetro de la tubería: 3/8 in para la línea de succión

En función de los parámetros anteriores se ha seleccionado la tubería de cobre tipo L, que me permita realizar acoples mecánicos de 3/8 in tanto para la línea de líquido, como para la de succión. **ANEXO 15.**



Fig. 3.12 Tubería de cobre tipo L

3.5.12 Selección del acumulador de succión

Para la selección del acumulador de succión son necesarios los siguientes parámetros:

- Tipo de refrigerante a utilizar: R-404 A.
- Diámetro de la tubería de conexión tanto a la entrada (int), como a la salida (out).

- Tipo de acumulador: vertical u horizontal.
- Capacidad del sistema: 0.30 KW.

En función de los parámetros antes mencionados se ha optado por seleccionar un acumulador de succión vertical, de ½ in modelo S-7048. **ANEXO 16.**



Fig. 3.13 Acumulador de succión vertical

3.5.13 Selección de elementos del sistema eléctrico

3.5.14 Selección de los contactores

Para la selección de los contactores es necesario saber los siguientes datos de la unidad condensadora de nuestro sistema. A continuación ponemos a consideración los datos de placa de la unidad condensadora: **ANEXO 17.**

Datos de la placa de la unidad condensadora

Tabla 3.6 Datos de placa de la unidad condensadora

Intensidad nominal	5.2 A
Frecuencia	60 Hz
Voltage	220 V
Potencia	1.5 HP

Para la selección de los contactores debemos saber que un contactor es un elemento conductor que tiene por objetivo establecer o interrumpir el paso de corriente, ya sea en el circuito de potencia o en el circuito de mando, tan pronto se energice la bobina.

En los esquemas eléctricos, su simbología se establece con las letras KM seguidas de un numero de orden.

En base a los datos expuestos anteriormente se ha seleccionado: 3 contactores

3 CONTACTORES GMC-12



Fig. 3.14 Contactor GMC-12.

3.5.15 Protecciones térmicas

3.5.15.1 Guardamotores y disyuntores

Los tipos más habituales de protecciones térmicas que usamos en los sistemas eléctricos de maquinas son los guardamotores y los disyuntores.

Un guardamotor es un disyuntor magneto-térmico, especialmente diseñado para la protección de motores eléctricos.

Las características principales de los guardamotores, al igual que de otros interruptores automáticos magneto-térmicos, son la capacidad de ruptura, la intensidad de corriente. Proporciona protección frente a sobrecargas del motor y cortocircuitos.



Fig. 3.15 Guardamotor GV2-M10

3.5.16 Relés

El relé es un dispositivo electromecánico, que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.

En este caso se ha elegido el modelo MK3P-I con base de de 12 pines porque cumple con los requerimientos de accionamientos (actuador que controla), 220V.



Fig. 3.16 Relé MK3P-I

3.5.17 Selección del plc

La selección del plc adecuado para el sistema de refrigeración se ha hecho en función de los siguientes parámetros:

- Número de entradas
- Número de salidas
- Costos
- Voltage

En base a los parámetro expuestos anteriormente se ha decidido trabaja con el controlador lógico ARRAY 100.....240V AC logrando así una capacidad de 12 entradas y 8 salidas, facilidad de programación mediante diagrama de bloques en un programa específico denominado QUICK II. **ANEXO 18.**



Fig. 3.17 PLC marca ARRAY

CAPÍTULO IV

4. INSTALACIÓN Y PRUEBAS DEL SISTEMA

4.1 Introducción

Los pasos a seguir para el montaje de los equipos son:

- a) Planificación del Ensamble de los componentes de nuestro Sistema.
- b) Instalación de los equipos y accesorios.
- c) Pruebas de Fuga.
- d) Proceso de Vacío.
- e) Carga de Refrigerante en el Sistema.
- f) Ajuste y Comprobación del Equipo de Seguridad..
- g) Calibración del Controlador Programable de Temperatura
- h) Pruebas de funcionamiento del Sistema.
- i) Análisis de Resultados.
- j) Elaboración de las guías de Laboratorio.

4.2 Planificación del ensamble de los componentes de nuestro sistema.

Debemos tener en cuenta la facilidad de ubicación y manipulación de los elementos del sistema y a la vez el orden de ensamble de los accesorios de acuerdo a los planos de instalación. (Ver lamina N. 5).

4.3 Instalación de los equipos y accesorios.

Todos los equipos y accesorios deben permanecer herméticamente cerrados hasta el momento de su instalación en el sistema para evitar humedad, ya que la humedad es enemiga número uno de la refrigeración.

4.3.1 Unidad condensadora

La unidad deberá colocarse de tal manera que el aire pueda circular libremente y no sea re circulado para un adecuado flujo de aire y acceso a todos los lados de la unidad esta deberá colocarse a una distancia mínima de la pared u obstrucción se prefiere que esta distancia sea incrementada cuando sea posible. Tener cuidado de que haya espacio suficiente para trabajos de mantenimiento. [16]



Fig. 4.1 Unidad condensadora

4.3.2 Instalación del evaporador

Para la colocación del evaporador deberán seguirse las siguientes reglas generales:

- a) La dispersión del aire deberá cubrir la cámara completamente
- b) Nunca colocar los evaporadores sobre la puerta
- c) La ubicación de accesorios deberá conocerse
- d) La ubicación relativa al compresor debe ser para mínimos recorridos de tubería
- e) Ubicar la línea de drenado de los condensadores para mínimos recorridos de tubería. [16].

Espacios mínimos libres en los evaporadores

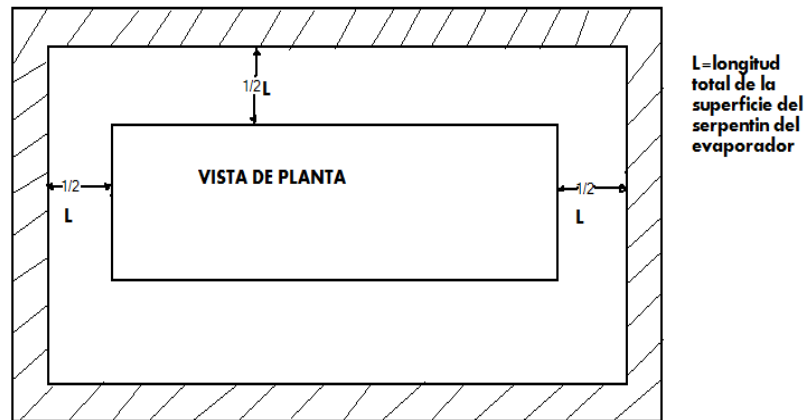


Fig. 4.2 Ubicación del evaporador de aire forzado



Fig. 4.3 Instalación del evaporador de aire forzado

4.3.3 Instalación de la válvula de expansión

Antes de instalar la válvula de expansión en el distribuidor del evaporador deberá colocarse el orificio el cual es seleccionado para el refrigerante que será usado.

Para un máximo rendimiento es importante seleccionar una válvula de expansión de la capacidad correcta y carga seleccionada.

Las válvulas de expansión termostáticas pueden ser montadas en cualquier posición pero estas deben instalarse tan cerca al evaporador como sea posible.

Para obtener el mejor rendimiento la salida de la válvula de expansión, deberá ser instalada directamente al cuerpo del distribuidor si esto no es posible la distancia entre la salida de la válvula y el distribuidor no deberá exceder 24" (61 cm), No colocar "eles" o ángulos a lo largo de esta distancia de lo contrario se tendrán problemas de distribución de refrigerante.

El tubo que conecta la salida de la válvula y el distribuidor puede ser más pequeño para conservar la velocidad del refrigerante y mejorar la distribución.

Los codos colocados entre la válvula de expansión y el distribuidor dificultaran la adecuada distribución por lo tanto no son recomendables Sin embargo algunos accesorios pueden requerir el uso de codos. [17].



Fig. 4.4 Instalación de la válvula de expansión

Ubicación del bulbo

Colocar el bulbo de la válvula de expansión sobre un tramo horizontal de la línea de succión tan cerca al cabezal de succión como sea posible. El bulbo deberá ser sujeto perfectamente con abrazadera metálica en la línea de succión y cubierto con un aislante de tipo impermeable. El bulbo nunca debe colocarse sobre uniones acoplamiento u otras obstrucciones que no permitan hacer 100% contacto con la línea de succión.

El bulbo nunca deberá ser colocado en trampas o la sección baja de una trampa de la línea de succión. No se recomienda colocar el bulbo en la parte inferior de la línea de succión. El bulbo deberá ser instalado a las 8,9 o 3, 4 en punto sobre la línea de succión. [16] y [17]

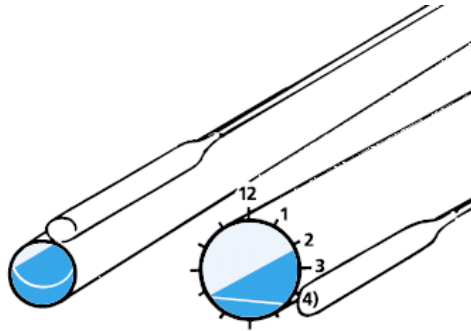


Fig. 4.5 Ubicación del bulbo

4.3.4 Instalación de la válvula solenoide

Todas las válvulas de solenoide, tipos EVR/EVRA, solamente funcionan cuando se instalan correctamente en la dirección de flujo, esto es, la dirección indicada por la flecha.

Normalmente, cuando se monta una válvula de solenoide delante de una válvula de expansión termostática, se debe colocar cerca de ésta. Con esto se evitan golpes de ariete cuando la válvula de solenoide se abre.

Utilice siempre fuerzas contrarias en el apriete final de la válvula de solenoide a las tuberías, es decir, dos llaves en el mismo lado de la válvula.

Cuando se monta la bobina, se presiona la misma con la mano sobre el tubo de la armadura hasta que se escuche un clic. Esto significa que la bobina ha sido colocada correctamente



Fig. 4.6 Instalación de la válvula solenoide

Se debe comprobar que los datos de la bobina (tensión y frecuencia) correspondan a la tensión de suministro. En caso contrario, se puede quemar la bobina. Siempre se debe comprobar que la válvula y la bobina corresponden la una a la otra.[17]

4.3.5 Instalación de la válvula reguladora de presión de evaporación

El regulador de presión de evaporación se instala en la línea de aspiración detrás del evaporador para regular la presión de evaporación en instalaciones de refrigeración con uno o más evaporadores y un compresor.

En dichas instalaciones, que trabajan con diferentes presiones de evaporación, se monta el OPR6 siguiendo el sentido de flechas marcada en dicha válvula.

El regulador de presión de evaporación OPR6 tiene una toma para acoplar un manómetro que se usa para regular la presión de evaporación. El OPR6 mantiene una presión constante en el evaporador. [17]



Fig. 4.7 Instalación de la válvula Opr -6

4.3.6 Instalación de la tubería

Siempre que sea posible, el trazado de la tubería tiene que ser horizontal ó vertical. Las excepciones son:

- Las líneas de aspiración, a las que se les puede dar una ligera inclinación descendente hacia el compresor.
- Las líneas de descarga, que pueden tener una ligera inclinación descendente alejándose del compresor.

Las abrazaderas, clips, etc. deben colocarse a intervalos convenientes, dependiendo del diámetro del tubo y del peso que ejercen los componentes montados en el trazado de la tubería.

Las trampas de aceite deben montarse en las tuberías de aspiración.

Por lo demás, las líneas de aspiración deben instalarse teniendo en cuenta el retorno de aceite al compresor.



Fig. 4.8 Tubería a instalar

Las tuberías deben ser cortadas con un corta-tubos o serradas. Nunca usar medios lubricantes o refrigerantes.

Evitar la viruta de cobre en el interior de la tubería. Hacer uso de herramientas de calibre para conseguir el diámetro y redondez adecuados.

Soplar con una potente corriente de aire comprimido seco ó de nitrógeno seco a través de la tubería.

Nunca usar aire comprimido corriente, a causa de su gran contenido de humedad. Nunca soplar con la boca a través del tubo. [16] y [18]

4.3.7 Instalación del acumulador de succión

Su apropiada instalación, lo más cerca posible del compresor, en la línea de succión, es un salvavidas para su equipo, pues asegura un retorno adecuado de aceite y de refrigerante evaporado por medio del dispositivo de retorno. Para ser efectivo, el acumulador debe tener una capacidad de al menos el 50% del refrigerante cargado en el sistema. [19]



Fig. 4.9 Instalación del acumulador de succión

4.3.8 Instalación de la válvula de paso

Para garantizar una buena instalación de estas válvulas se deben instalar respetando el sentido de flujo de fluido, que viene marcado en dichas válvulas. [17]



Fig. 4.10 Instalación de la válvula de paso

4.3.9 Acoples mecánicos y soldadura de plata

Para tener un buen acople mecánico se debe emplear solamente tubos de cobre aprobados para refrigeración.

Para realizar un buen acampanado primero se debe cortar los tubos en ángulo recto, eliminar todas las rebabas interiores y exteriores y por ultimo hacer el ensanche abocardado a la medida adecuada, ni demasiado grande ni demasiado pequeño.

No apretar demasiado el ensanche abocardado para que no endurezca, el apriete final se efectúa al acabar el montaje de la instalación.

Todo este acampanado se realiza con una prensa de expansión la cual expande el extremo del tubo de cobre en forma cónica.



Fig. 4.11 Prensa de expansión



Fig. 4.12 Acampanamiento

La soldadura apropiada para este tipo de tubería es de plata que se compone de un 30% de plata, cobre, zinc y estaño. La temperatura de fusión va desde unos 655 °C hasta cerca de 755°C.

Solamente se consigue una buena unión en superficies metálicas limpias y no oxidadas.

Se debe limpiar los extremos de las tuberías con un cepillo especial y aplicar al momento la materia fundente inmediatamente antes de soldar.

La materia fundente para soldadura con plata se disuelve con alcohol, nunca con agua.

Untar una capa fina de materia fundente alrededor del punto de soldadura después de haber unido las partes a soldar.

La soldadura de plata o de aleaciones de plata es ampliamente utilizada en la industria de la refrigeración, ya que tienen alta resistencia a la corrosión, a pruebas de vibración y a prueba de fugas. [16] y [17]



Fig. 4.13 Soldadura oxiacetilénica

4.3.10 Instalación del sistema eléctrico

En un sistema de refrigeración por compresión mecánica las instalaciones eléctricas constan de dos circuitos que gobiernan el sistema de refrigeración (**LAMINA N. 4**).

- **Circuito de control o de mando**

En el siguiente plano, se representan todos los elementos tales como, PLC, relés contactores que forman parte del sistema de control.

- **Circuito de potencia**

En el circuito de potencia es la parte que mas consumo de corriente eléctrica necesita, esta parte es la que se encarga de excitar los relés, contactores para activar un dispositivo de salida, ya sea la unidad condensadora, ventiladores del presente proyecto.

Programación del plc

Para la programación del PLC se utilizo el programa específico denominado QUICK II, el lenguaje de programación que se utilizo es el FUP o diagrama de bloques a continuación se detallara las etapas de programación.

Etapas de programación del sistema de refrigeración

Tabla 4.1 Lista de asignaciones para las entradas

	Lista de asignaciones
Entrada	Asignación
I1	boton off paro cámara de conservación
I2	selector cámara de congelación giro izquierda
I3	botón off paro cámara de congelación
I4	señal de temperatura cámara de conservación
I5	botón on encendido cámara de conservación
I6	botón on encendido cámara de congelación
I7	selector de cámara de conservación giro derecha
I8	señal de temperatura cámara de congelación
I9	señal presóstato

Tabla 4.2 Lista de asignaciones para las salidas.

	Lista de asignaciones
Salidas	Asignación
Q1	unidad condensadora
Q2	ventilador cámara de congelación
Q3	válvula solenoide cámara de congelación
Q4	válvula solenoide cámara de conservación
Q5	válvula solenoide cámara de conservación
Q6	ventilador cámara de conservación
Q8	display de temperatura cámara de conservación

Programación del circuito de control

Interfaz de usuario

Ahora se puede ver la interfaz de usuario completa del ARRAY 12 inputs 8 outputs. La mayor parte de la pantalla la ocupa entonces el área dedicada a la creación de esquemas eléctricos, llamada interfaz de programación. En esta plataforma de programación se disponen los símbolos y enlaces del programa.

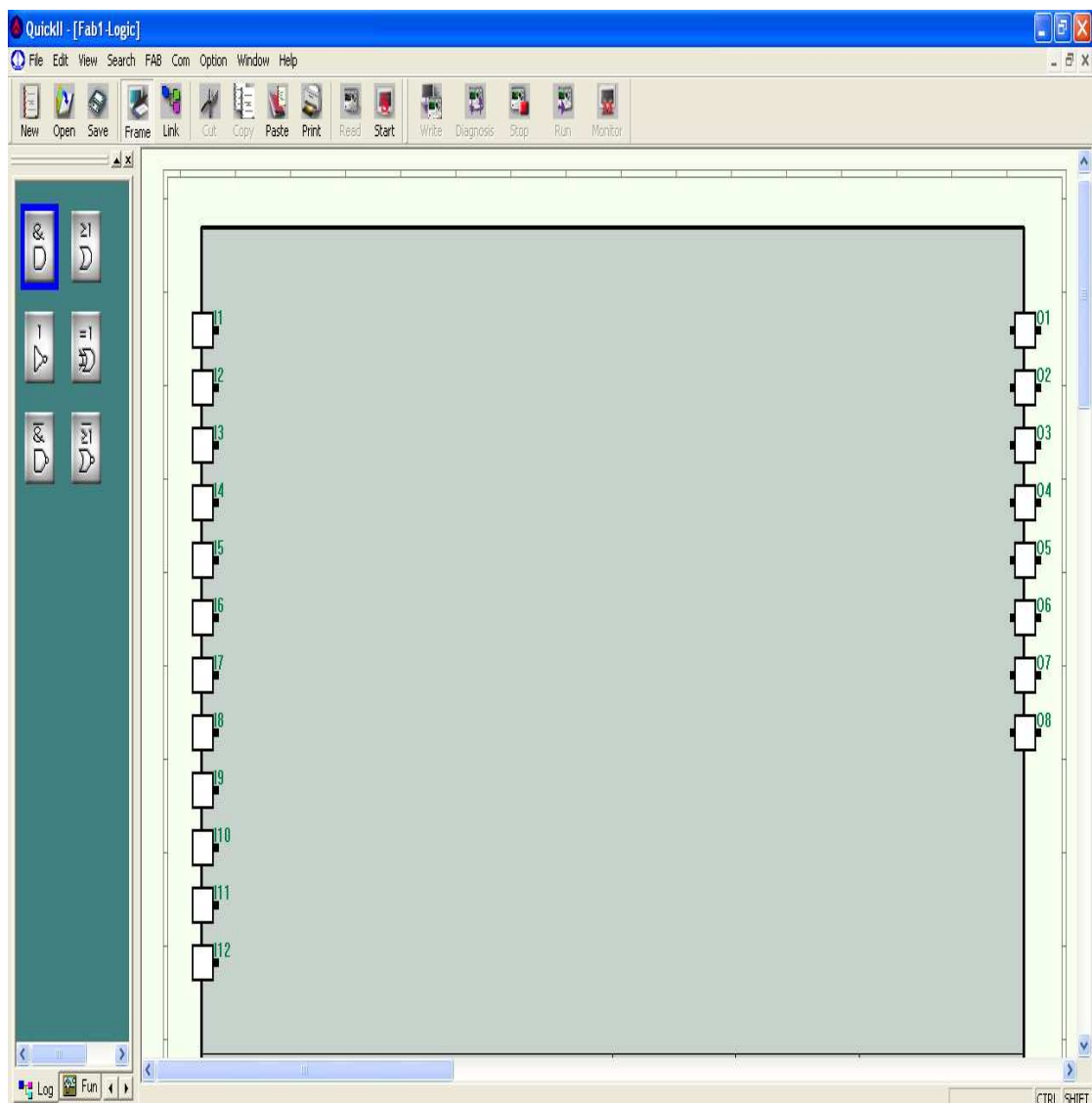


Fig. 4.14 Interfaz de usuario

Programación de la cámara de congelación

En esta figura se detalla cómo está conectado el funcionamiento de la cámara de congelación. Para el funcionamiento del mismo, el circuito consta de un botón de encendido, el

botón stop, el selector de procesos, la señal de temperatura, la señal del presóstato, que son los requisitos para el funcionamiento.

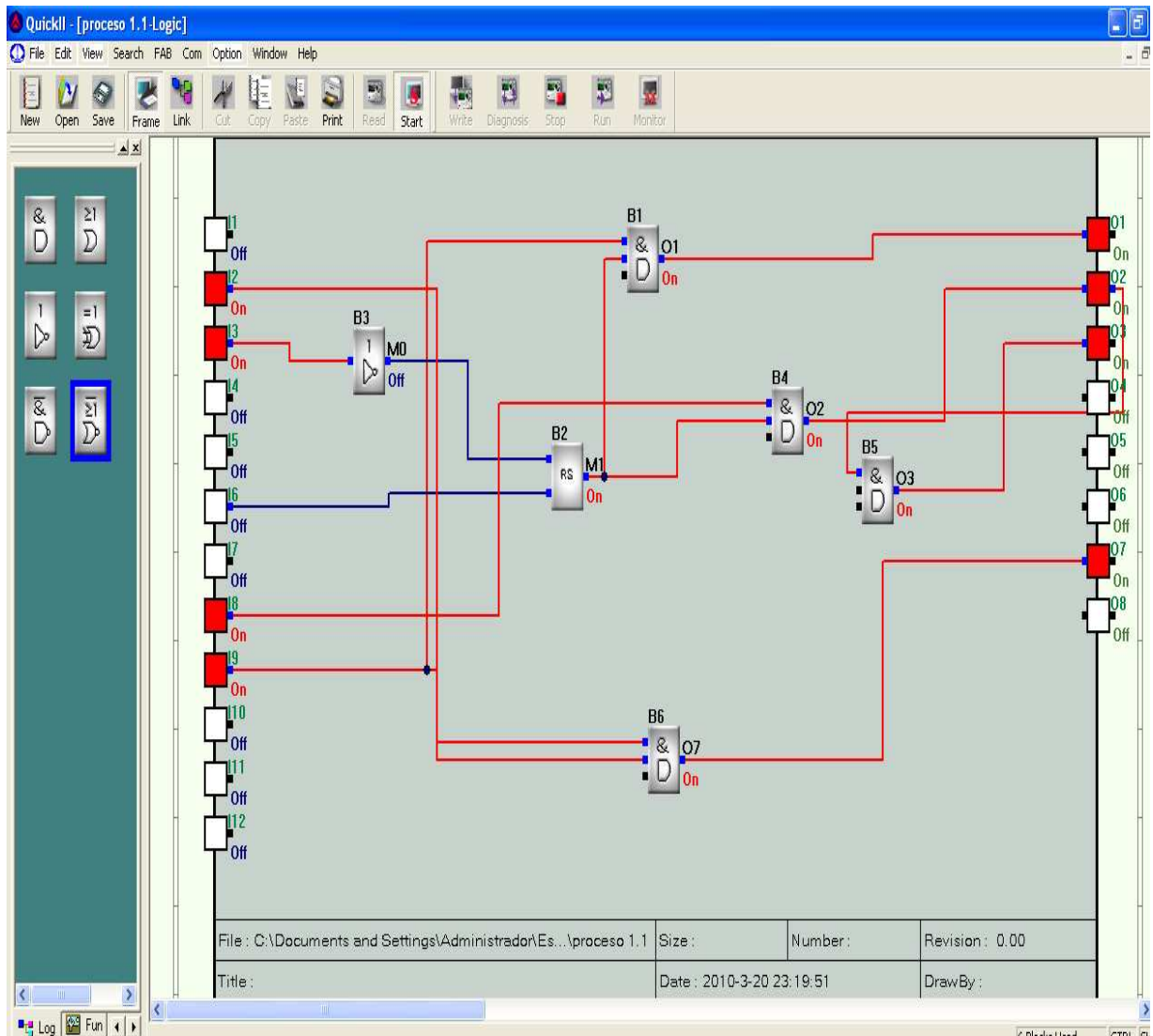


Fig. 4.15 Funcionamiento de la cámara de congelación

Programación de la cámara de conservación

En esta figura se detalla cómo está conectado el funcionamiento de la cámara de conservación. Para el funcionamiento del mismo, el circuito consta de un botón de encendido, el botón stop, el selector de procesos, la señal de temperatura, la señal del presóstato, que son los requisitos para el funcionamiento de la cámara de conservación. Hay que indicar que esta programación solo sirve para el funcionamiento real del sistema de refrigeración.

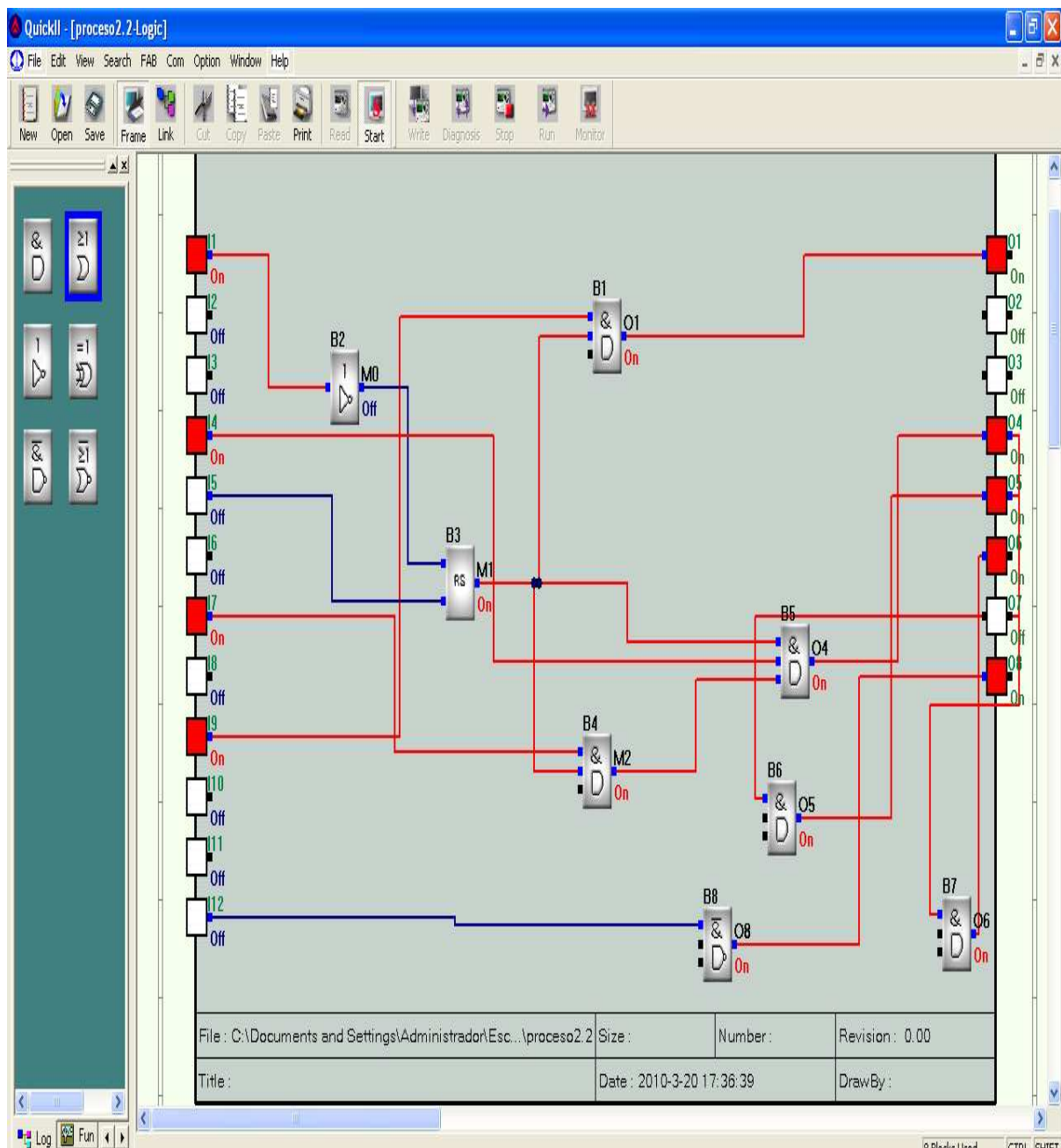


Fig. 4.16 Funcionamiento de la cámara de conservación

En la figura 4-16, se indica el funcionamiento del sistema de refrigeración para conservación. Para entender el funcionamiento primeramente hay que designar las entradas y salidas correspondientes.

Tabla 4.3 Lista de asignaciones de entradas programación cámara de conservación

	Lista de asignaciones
Entrada	Asignación
I1	boton off paro cámara de conservación
I4	señal de temperatura de la cámara de conservación
I5	boton on encendido cámara de conservación
I7	selector cámara de conservación giro derecha
I9	señal presóstato
I12	señal encendido control de temperatura

Tabla 4.4 Lista de asignaciones para las salidas programación cámara de conservación

	Lista de asignaciones
Salidas	Asigancion
Q1	Unidad condensadora
Q4	Válvula solenoide cámara de conservación
Q5	Válvula solenoide cámara de conservación
Q6	Ventilador cámara de conservación
Q8	Display de temperatura cámara de conservación

Una vez energizado el sistema primeramente seleccionar la cámara de conservación (I7), inmediatamente debemos tener señal de entrada del presostato (I9), luego pulsamos el botón de encendido ON (I5), a su vez debemos tener señales de temperatura (I4), con todos estos parámetros el sistema comienza el ciclo. Inmediatamente se encienden las salidas Q1 me indica que la unidad condensadora va a estar funcionando, se van abrir las válvulas (Q4,Q5) se va a encender el ventilador del evaporador (Q6), el display de temperatura (Q8). , si deseamos parar el proceso pulsamos OFF (I1).

Al momento de obtener la temperatura deseada en nuestro sistema es decir 2 grados centígrados la entrada I4, enviara una señal para que detengan inmediatamente las válvulas y el ventilador correspondiente. Luego del cual el sistema ya no va a necesitar fluido entonces la unidad condensadora se apagara, cuando se produzca una elevación de temperatura con respecto a la cámara que está fijada inicia nuevamente el ciclo.

Programación de la cámara de congelación y conservación

Finalmente se ha unificado la programación de la cámara de congelación como la cámara de conservación para que puedan funcionar en forma simultánea es decir los dos sistemas iguales. A continuación se muestra la figura final de programación del sistema de conservación y congelación.

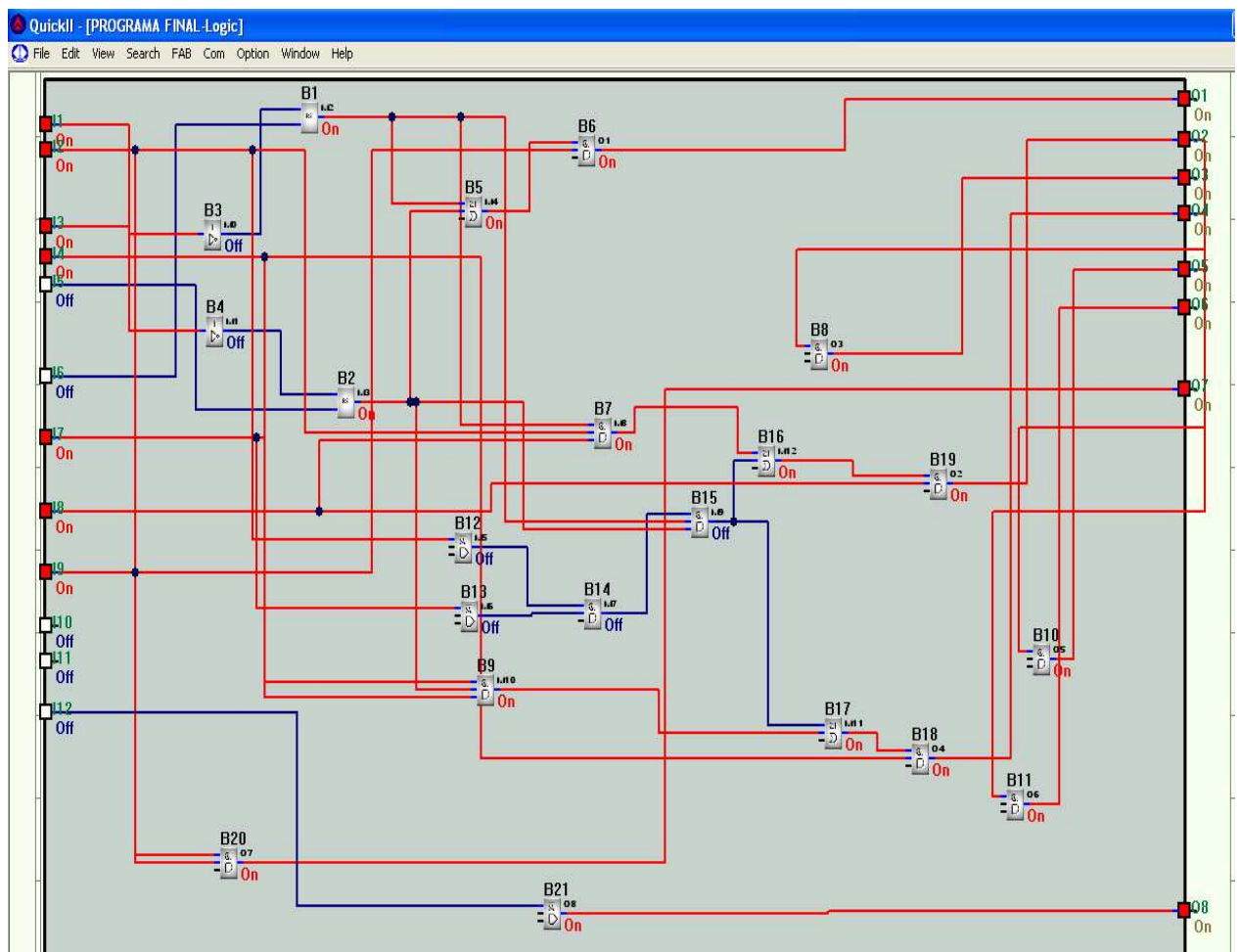


Fig. 4.17 Funcionamiento cámara de congelación y conservación.

4.4 Prueba de fugas

Existen 2 métodos para verificar la existencia de puntos de fuga en una instalación: un detector electrónico, o bien el más común una solución de agua y jabón.

En este método existe la necesidad de presencia de refrigerante dentro del sistema para que el detector electrónico emita una señal.

En el método más común es necesario mantener presurizado el sistema de refrigeración con nitrógeno o bien sea refrigerante, y posteriormente aplicar la solución jabonosa en las conexiones de tubería, dobleces o bien donde se sospeche que existe fuga. En donde exista la formación de burbujas se habrá detectado una fuga.

Los sistemas de refrigeración deben ser herméticos ya que si existe alguna fuga habrá pérdida de la carga de refrigerante y como consecuencia habrá humedad.

En el banco de refrigeración instalado se realizó la prueba de fugas con refrigerante 404 elevando la presión y en seguida se aplicó la solución de agua y jabón.

Se realizó este procedimiento debido a la facilidad y a que disponemos del refrigerante.[18]



Fig. 4.18 Prueba de fugas

4.5 Proceso de vacío

Existen dos métodos para efectuar el proceso de vacío:

- Evacuación con vacío profundo.- Es el medio más seguro de proporcionar un sistema libre de aire y agua, toma ligeramente más tiempo que el otro método. El propósito

de la evacuación es reducir la presión o vacío lo suficiente para hervir o vaporizar el agua y luego bombearla fuera del sistema

Los vacíos a los que se debe llegar son: 500 micrones si se trabaja con aceite mineral o aceite alquilbenceno y 250 micrones si se trabaja con aceite polioléster [40]. El vacío correcto se alcanza midiendo por medio de un vacuómetro y no por el tiempo que se deje la bomba trabajando en el sistema.

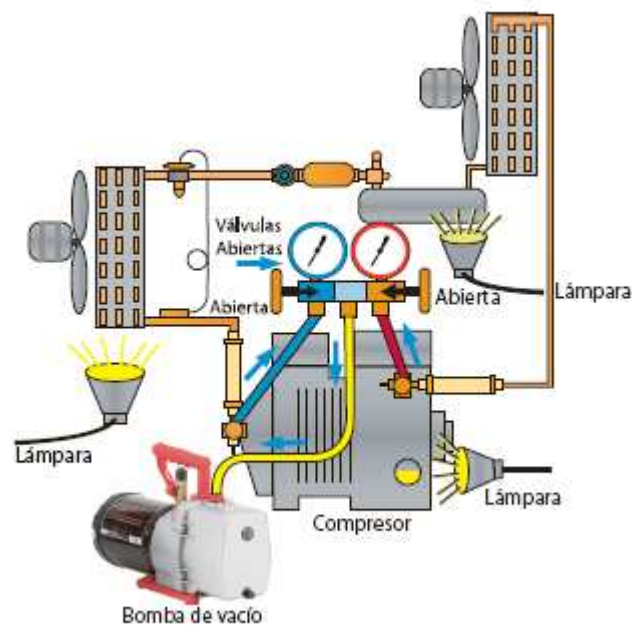


Fig. 4.19 Proceso de vacío profundo

- Evacuación triple.- No requiere de un equipo de alto vacío, sin embargo este método no debe utilizarse si se sospecha la existencia de agua líquida en el sistema. Se requiere de una bomba de evacuación con capacidad para producir 20 plg. de Hg de vacío.

Este método de evacuación se basa en el principio de diluir los gases no-condensables y la humedad, con vapor refrigerante limpio y seco; este vapor es luego retirado del sistema, llevándose con él una porción de contaminantes. Cuando el procedimiento se repite, los contaminantes restantes son proporcionalmente reducidos hasta que el sistema está libre de humedad.

Para poner en funcionamiento el sistema de refrigeración y garantizar un buen vaciado se realiza el proceso de vacío profundo.



Fig. 4.20 Proceso de vacío

4.6 Carga de refrigerante en el sistema

Después de haber evacuado el sistema adecuadamente se cierra la válvula del manifold y las conexiones a la bomba de vacío, y el vacuómetro. Conecte el cilindro del refrigerante. Purgue la manguera de servicio del manifold que conecta al circuito. Abra la válvula de servicio que da acceso al cilindro del refrigerante y después abra el registro de alta presión del manifold que conecta al lado de alta del compresor.

Con el sistema parado cargue refrigerante en forma líquida por el lado de alta del compresor. Espere por lo menos 10 minutos antes de conectar el equipo, cierre el registro de alta presión del manifold, abra el registro de baja presión que conecta con la succión y con el sistema en funcionamiento complete la carga con refrigerante en forma gaseosa. Verifique a

través del visor de líquido que la carga del refrigerante este completa, revisando que el refrigerante no produzca burbujas al pasar por el visor de líquido. [18]



Fig. 4.21 Carga del refrigerante en el sistema

La carga de refrigerante se realizó en forma de vapor por el método de la mirilla, que se baso en el funcionamiento de los dos sistemas de refrigeración, tanto en el de congelación como el de conservación, ya que se cargo el refrigerante hasta el momento que llegue a la temperatura más critica que es de -15 °C en ese momento se detiene la carga del refrigerante cuando no exista la presencia de burbujas y la mirilla este completamente llena de refrigerante.

4.7 Ajuste y comprobación del equipo de seguridad

Una vez puesto en marcha el sistema de refrigeración se verifica las presiones tanto de succión como de descarga, ya que al funcionar los dos sistemas simultáneamente debemos tener presiones en la descarga dentro de los parámetros de diseño.

La válvula reguladora de presión OPR6 se regula de la siguiente forma:

Serie	Tamaño del puerto	Rango ajustable en psig
OPR6	½ in.	0-60

Para comprobar el correcto funcionamiento de la OPR6 en la línea de descarga se debe poner en funcionamiento los dos sistemas de refrigeración para que mediante los manómetros de baja podamos apreciar las presiones iguales en el momento del retorno del refrigerante a la unidad condensadora.

4.8 Calibración del controlador programable de temperatura.

Los parámetros de ajuste de la temperatura de control son:

Tabla 4.5 Parámetros de configuración protegidos por el código de acceso

Fun	Descripción	Unid	Padrón
F01	Código de acceso: 123	-	-
F02	Corrimiento de indicación (offset)	°C	0
F03	Mínimo setpoint permitido al usuario final	°C	2
F04	Máximo setpoint permitido al usuario final	°C	5
F05	Diferencial de control (histéresis)	°C	3
F06	Retardo para volver a conectar la salida de refrigeración	Seg.	20
F07	Tiempo de refrigeración	Min.	240
F08	Tiempo de deshielo(*)	Min.	30
F09	Estado inicial al energizar el instrumento	-	0-refrig.
F10	Indicación de temperatura tratada durante el deshielo(**)	-	0-no
F11	Retardo en la anergización del instrumento	Min.	0
F12	Tiempo adicional al final del primer ciclo	Min.	0
F13	Situación del compresor con el sensor dañado	-	0-descon
F14	Intensidad del filtro digital (***)	-	0



Fig. 4.22 Banco de refrigeración de conservación.

4.9 Pruebas de funcionamiento del equipo

Una vez instalado el sistema de refrigeración y comprobado que todos elementos de control que funcionen correctamente, se procede a realizar las pruebas de funcionamiento del banco de conservación.

Las pruebas a realizar consisten en comprobar el tiempo que la cámara frigorífica alcanza una temperatura de 2°C , con carga y sin carga a su vez determinar las temperaturas y presiones para graficar el ciclo termodinámico de operación del sistema de refrigeración para poder determinar todos los parámetros del ciclo real de refrigeración.

Para realizar las pruebas de funcionamiento del banco de refrigeración, se utilizó los siguientes instrumentos: termómetro digital, higrómetro, y multímetro.



Termómetro digital



Multímetro

Fig.4.23 Equipos utilizados para realizar las pruebas de funcionamiento

4.9.1 Funcionamiento del sistema de refrigeración de conservación sin carga. (sin producto).

Los objetivos de la prueba son los siguientes:

- Determinar en qué tiempo la cámara de conservación alcanza la temperatura de 2°C, para ello nos vamos a valer de una gráfica Temperatura vs Tiempo.
- Trazado del ciclo real de funcionamiento y determinar los parámetros de la cámara de conservación sin producto.

Lugar donde se realizó la prueba: Riobamba-Ecuador

Fecha de la prueba: 20 de abril 2010

Hora de inicio de la prueba: 9h20

Temperatura del ambiente: 20.40

Temperatura inicial de la cámara de conservación: 20 °C

Humedad del ambiente:

50%

Hora final de la prueba:

11h30

En el **ANEXO 19**, se indica la tabla de resultados de temperatura en función del tiempo; necesitando de un tiempo de 6 minutos con 29 segundos, para obtener una temperatura de 2°C en la cámara de conservación.

En este proceso consume 4,3 Amperios durante el funcionamiento del sistema de refrigeración de conservación sin carga.

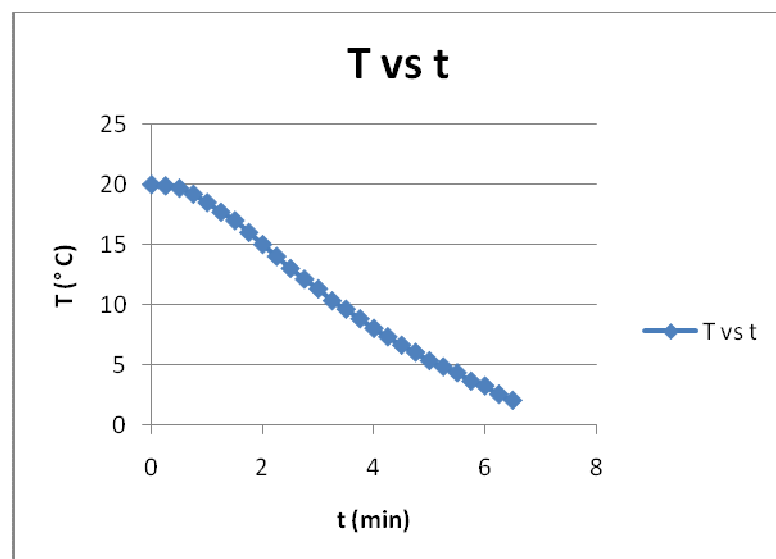


Fig. 4.24 Gráfica de la cámara de conservación sin carga

Trazado del ciclo real de la cámara de conservación sin carga

Para dibujar el ciclo de operación del sistema de refrigeración en el diagrama presión – entalpía, del Refrigerante R-404 A se tomaron los siguientes datos de temperatura y presión, en los siguientes puntos.

Tabla 4.6 Datos obtenidos en las pruebas del ciclo real de operación de la cámara de conservación sin carga

Sensor temp.	Punto estado	Ubicación	Temp. (°C)	Presión (psig)
1	1'	Entrada del compresor	-15	
2	c'	Salida del compresor	62	180
3	3'	Entrada de la válv. expans. term.	23	
4	e	Salida del evaporador	-30	20

Los datos de temperatura de los sensores 1, 2, 3 y 4 se obtuvieron mediante las curvas respectivas de cada sensor a continuación se detalla el comportamiento de cada curva.

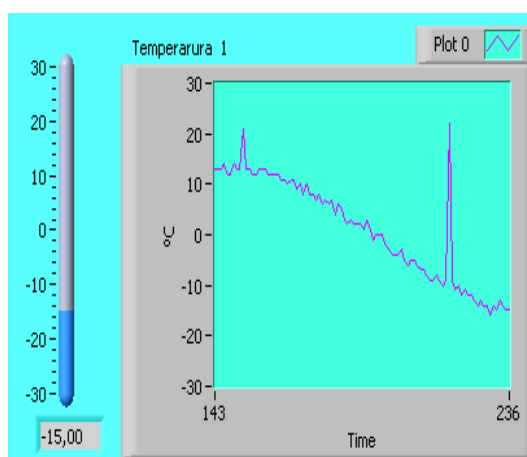


Fig. 4.25 Temperatura de entrada del compresor cuando funciona la cámara de conservación sin carga

La fig.4.25 indica la temperatura a la entrada del compresor que parte de una temperatura inicial **13 °C**, que a medida que el tiempo de funcionamiento de la cámara de conservación va en aumento, esta temperatura desciende desde un tiempo inicial en segundos hasta llegar a la temperatura deseada.

Podemos observar que la temperatura en este punto alcanza a **-15 °C** cuando la temperatura de la cámara de conservación llega a **2 °C** que es la temperatura deseada.

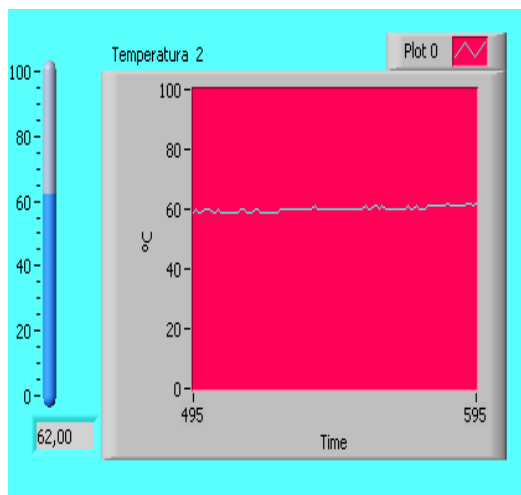


Fig.4-26 Temperatura a la salida del compresor cuando funciona la cámara de conservación sin carga.

En la **fig.4.26** se puede observar la temperatura a la salida del compresor que parte desde una temperatura inicial de 25 °C y desde un tiempo inicial en segundos, que a medida que va incrementando el tiempo de funcionamiento del sistema de refrigeración de conservación la temperatura se va a ir estabilizando.

Podemos observar que la temperatura en este punto se va estabilizando cuando llega a 62°C y esto ocurre cuando en la cámara de conservación llega a la temperatura deseada de 2°C.

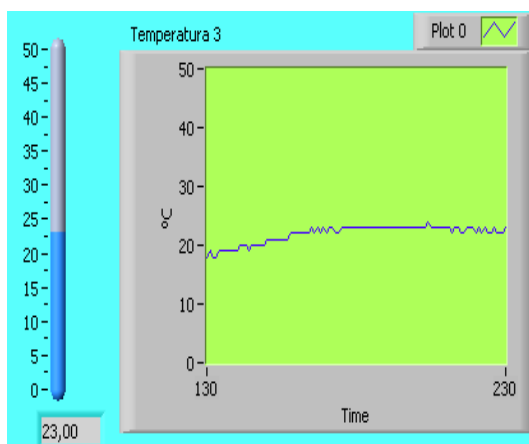


Fig. 4.27 Temperatura a la entrada de vál. Expansión cuando funciona la cámara de conservación sin carga

En la **fig.4.27** se puede observar que la temperatura a la entrada de la válvula de expansión parte de una temperatura inicial de 18 °C en un tiempo inicial en segundos, la que tiende a incrementarse hasta estabilizarse.

Como podemos observar en este punto la temperatura se estabiliza a **23 °C** una vez que la cámara de conservación alcanza la temperatura deseada de **2 °C**.

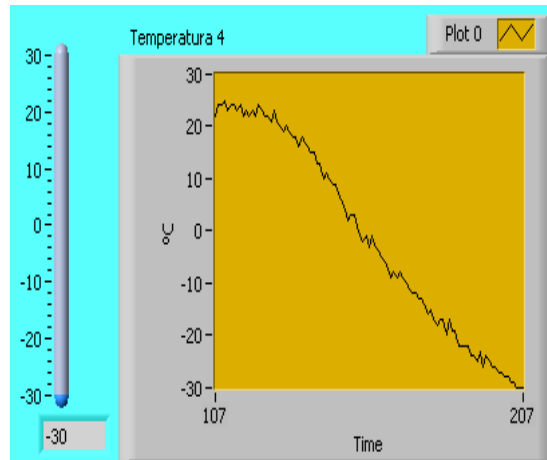


Fig. 4.28 Temperatura a la salida del evaporador cuando funciona la cámara de conservación sin carga

La fig.4.28 indica la temperatura a la salida del evaporador la misma que parte de una temperatura inicial de **23 °C** en un tiempo inicial en segundos, la misma que descende a medida que transcurre el tiempo de funcionamiento del sistema de refrigeración de conservación.

Podemos observar que cuando la cámara de conservación llega a su temperatura deseada de **2 °C**, la temperatura a la salida del evaporador es de **-30 °C**, temperatura en la que tiende a estabilizarse.

Las presiones se obtuvieron mediante los manómetros instalados en el sistema es decir el manómetro de alta presión y el de baja presión cabe indicar que las presiones aquí tomadas son manométricas.

Al haber determinado las presiones manométricas, inmediatamente determinamos las presiones de evaporación y condensación absolutas mediante la siguiente expresión.

$$P_{absoluta} = P_{manometrica} + P_{atmosferica}$$

Donde:

Presión atmosférica en la Epoch: 525mmHg-10.2 psi

Por lo tanto:

$$P_{evap} = 20 + 10.2 = 30.2 \text{ psia (0.20 MPa)}.$$

$$P_{cond} = 180 + 10.2 = 190.2 \text{ psia (1.3MPa)}.$$

Al haber determinado las presiones de evaporación y condensación, en la tabla de propiedades del Refrigerante R-404A **ANEXO 3** determinamos las temperaturas de evaporación y condensación.

$$\text{Presión de evaporación } (p_{evap}) = 0.20 \text{ Mpa (30.2 psia)}$$

$$\text{Presión de condensación } (p_{cond}) = 1.30 \text{ Mpa (190.2 psia)}$$

$$\text{Temperatura de evaporación } (T_{evap}) = -30^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Temperatura de condensación } (T_{cond}) = 27^{\circ}\text{C}$$

La caída de presión por el efecto de fricción sobre el flujo del vapor en la tubería de succión y accesorios se considera 0.028MPa (4psia).

Para determinar la presión de descarga se considera una caída de presión en la línea de descarga de 0.04MPa (6psia) razón por la cual:

$$P_{cond} = P_{des} - \Delta P_{des}$$

Donde:

P_{cond} : Presión de condensación.

P_{des} : Presión de descarga.

ΔP_{des} : caída de presión en la línea de descarga.

$$P_{des} = 1.30 + 0.04 = 1.34 \text{ MPa}$$

En función de los datos antes mencionados con la ayuda de la Gráfica del refrigerante R-404 A procedemos a graficar el ciclo real de la cámara de conservación. **ANEXO 20**

Tabla 4.7 Propiedades de los estados del ciclo de operación de la cámara de conservación sin carga.

Punto de estado	Entalpía (KJ/Kg)
b	363
2'	416
3'	231
c	412

De la ec.2.1 se obtiene el coeficiente de funcionamiento del Refrigerador de Carnot:

$$COP_{RC} = \frac{T_{evap}}{T_{cond} - T_{evap}}$$

$$COP_{RC} = \frac{-30}{27+30}$$

$$COP_{RC} = 4,27$$

Mediante la e la ec.2.2 se determina el trabajo de compresión:

$$W_c = h_2 - h_1$$

$$W_c = 416 - 363$$

$$W_c = 53 \text{ (KJ/Kg)}$$

De la ec. 2.3 se obtiene el Calor total cedido por el refrigerante al medio condensante:

$$q_{cond} = h_2 - h_3$$

$$q_{cond} = 416 - 231$$

$$q_{con} = 185 \text{ (KJ/Kg)}$$

Con ayuda de la ec. 2.4 obtenemos el valor del efecto refrigerante:

$$q_0 = h_1 - h_4$$

$$q_0 = 363 - 231$$

$$q_0 = 132 \text{ (KJ/Kg)}$$

Mediante la ec. 2.5 se calcula el flujo másico:

$$\dot{m} = \frac{Q}{q_o}$$

$$\dot{m} = \frac{0,32 \text{ Kw}}{132 \text{ (KJ/Kg)}}$$

$$\dot{m}=0.002424\text{kg/s}$$

A través de la ec. 2.6 se tiene el coeficiente de funcionamiento:

$$COP_R = \frac{q_o}{w_c} > 1$$

$$COP_R = \frac{132}{53}$$

$$COP_R=2,49$$

Con la ec.2.8 determinamos el rendimiento del ciclo de refrigeración:

$$n_R = \frac{COP_R}{COP_{RC}}$$

$$n_R = \frac{2,49}{4,27}$$

$$n_R = 58,38 \%$$

Eficiencia isoentropica del ciclo de refrigeración de conservación

$$n_{iso} = \frac{h_2 - h_1}{h_2' - h_1}$$

$$n_{iso} = \frac{412-363}{416-363}$$

$$n_{iso} = 92, 5 \%$$

4.9.2 Funcionamiento de la cámara de conservación con carga

Los objetivos de la prueba son los siguientes:

- Determinar en qué tiempo la cámara de conservación alcanza la temperatura de 2°C, para ello nos vamos a valer de una gráfica Temperatura vs Tiempo.

- Trazado del ciclo real de funcionamiento y determinar los parámetros de la cámara de conservación con producto.

Lugar donde se realizó la prueba: Riobamba-Ecuador

Fecha de la prueba: 20 de abril 2010

Hora de inicio de la prueba: 14h45

Temperatura del ambiente: 24°C

Temperatura inicial de la cámara de conservación: 21,8°C

Humedad del ambiente: 42%

Hora final de la prueba: 17h00

En el **ANEXO 19**, se indica la tabla de resultados de temperatura en función del tiempo; necesitando de un tiempo de 9 minutos con 50 segundos, para obtener una temperatura de 2°C en la cámara de conservación.

En este proceso consume 4,3 Amperios durante el funcionamiento del sistema de refrigeración de conservación con carga.

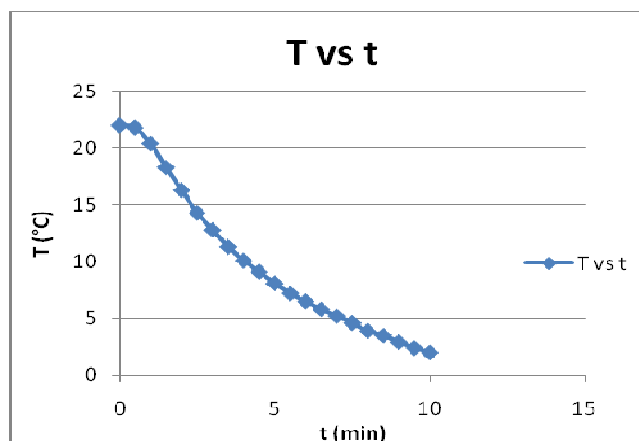


Fig. 4.29 Gráfica de la cámara de conservación con carga.

Trazado del ciclo real de operación del sistema de refrigeración de conservación con carga.

Para dibujar el ciclo de operación del sistema de refrigeración en el diagrama presión – entalpía, se tomaron los siguientes datos de temperatura y presión, en los siguientes puntos.

Tabla 4.8 Datos obtenidos en las pruebas del ciclo real de operación de la cámara de conservación con carga.

Sensor temp.	Punto estado	Ubicación	Temp. (°C)	Presión (psig)
1	1'	Entrada del compresor	-26	
2	c'	Salida del compresor	57	215
3	3'	Entrada de la válv. expans. term.	29	
4	e	Salida del evaporador	-29	20

Los datos de temperatura de los sensores 1, 2, 3 y 4 se obtuvieron mediante las curvas respectivas de cada sensor a continuación se detalla el comportamiento de cada curva.

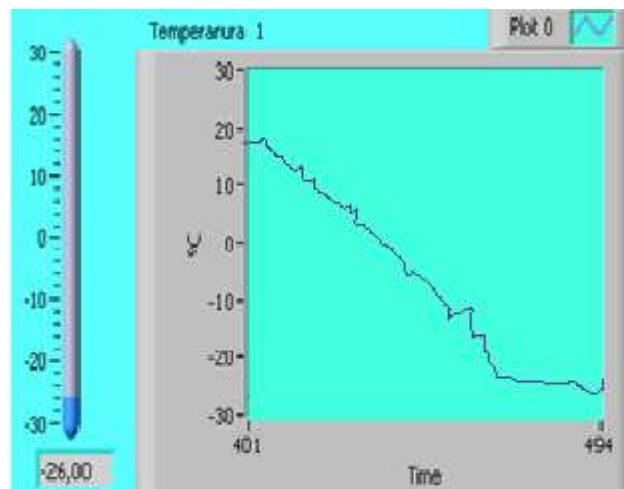


Fig. 4.30 Temperatura de entrada del compresor cuando funciona la cámara de conservación con carga.

La **fig.4.30** indica la temperatura a la entrada del compresor que parte en un instante de tiempo a una temperatura inicial de **18 °C**, que a medida que el tiempo de funcionamiento del sistema de refrigeración de conservación va en aumento, esta temperatura desciende desde su tiempo inicial en segundos hasta llegar a la temperatura deseada.

Podemos observar que la temperatura en este punto alcanza a **-26 °C** cuando la temperatura de la cámara de conservación llega a **2 °C** que es la temperatura deseada.

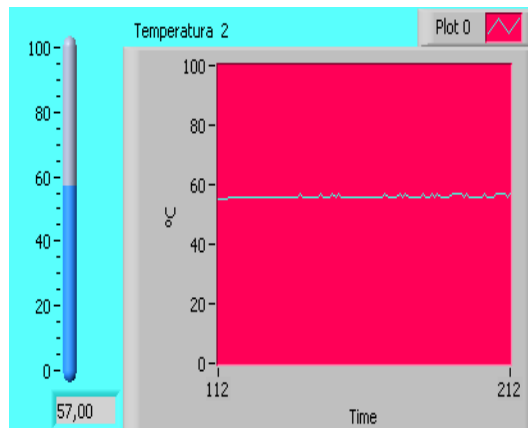


Fig. 4.31 Temperatura a la salida del compresor cuando funciona la cámara de conservación con carga.

En la **fig.4.31** se puede observar la temperatura a la salida del compresor que parte desde una temperatura inicial de 26 °C desde un instante de tiempo inicial en segundos, que como podemos observar se va estabilizando a medida que va incrementando el tiempo de funcionamiento del sistema de refrigeración.

La temperatura en este punto se estabiliza cuando llega a **57 °C** y esto ocurre cuando en la cámara de conservación llega a la temperatura deseada de **2 °C**.

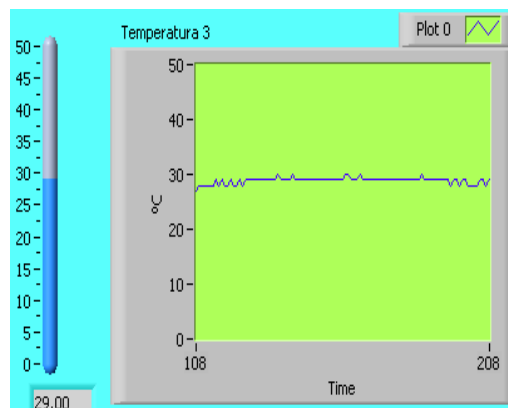


Fig. 4.32 Temperatura a la entrada de vál. Expansión cuando funciona la cámara de conservación con carga.

En la **fig.4.32** se puede observar que la temperatura a la entrada de la válvula de expansión parte de una temperatura inicial de 22 °C en un tiempo inicial de funcionamiento en segundos, la que tiende a incrementarse hasta estabilizarse.

Como podemos observar en este punto la temperatura se estabiliza a **29 °C** una vez que la cámara de conservación alcanza la temperatura deseada de **2 °C**.

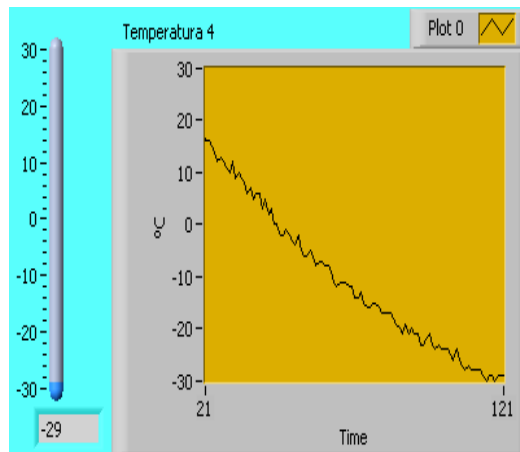


Fig. 4.33 Temperatura a la salida del evaporador cuando funciona la cámara de conservación con carga.

La **fig.4.33** indica la temperatura a la salida del evaporador la misma que parte de una temperatura inicial de **17 °C** en un tiempo inicial en segundos, la misma que descende a medida que transcurre el tiempo de funcionamiento del sistema de refrigeración de conservación.

Podemos observar que cuando la cámara de conservación llega a su temperatura deseada de **2 °C**, la temperatura a la salida del evaporador es de **-29 °C**, temperatura en la que tiende a estabilizarse.

Las presiones se obtuvieron mediante los manómetros instalados en el sistema es decir el manómetro de alta presión y el de baja presión cabe indicar que las presiones aquí tomadas son manométricas.

Al haber determinado las presiones manométricas, inmediatamente determinamos las presiones de evaporación y condensación absolutas mediante la siguiente expresión.

$$P_{absoluta} = P_{manometrica} + P_{atmosferica}$$

Donde:

Presión atmosférica en la Epoch: 525mmHg-10.2 psi

Por lo tanto:

$$P_{evap} = 20 + 10.2 = 30.2\text{psia (0.20 MPa)}.$$

$$P_{cond} = 215 + 10.2 = 225.2\text{psia (1.56MPa)}.$$

Al haber determinado las presiones de evaporación y condensación, en la tabla de propiedades del Refrigerante R-404A **ANEXO 3**. Determinamos las temperaturas de evaporación y condensación.

Presión de evaporación (p_{evap}) = 0.20 Mpa (30.2 psia)

Presión de condensación (p_{cond}) = 1.56 Mpa (225.2 psia)

Temperatura de evaporación (T_{evap}) = -31°C

Temperatura de condensación (T_{cond}) = 32°C

La caída de presión por el efecto de fricción sobre el flujo del vapor en la tubería de succión y accesorios se considera 0.028MPa (4psia).

Para determinar la presión de descarga se considera una caída de presión en la línea de descarga de 0.04MPa (6psia) razón por la cual:

$$P_{cond} = P_{des} - \Delta P_{des}$$

Donde:

P_{cond} : Presión de condensación.

P_{des} : Presión de descarga.

ΔP_{des} : caída de presión en la línea de descarga.

$$P_{des} = 1.56 + 0.04 = 1.60\text{MPa}$$

En función de los datos antes mencionados con la ayuda de la Grafica del refrigerante R-404 A procedemos a graficar el ciclo real de la cámara de conservación con carga. **ANEXO20.**

Tabla 4.9 Propiedades de los estados del ciclo de operación del sistema de refrigeración de conservación con carga.

Punto	Entalpía
-------	----------

estado	(KJ/Kg)
b	360
2'	405
3'	240
c	400

De la ec.2.1 se obtiene el coeficiente de funcionamiento del Refrigerador de Carnot:

$$COP_{RC} = \frac{T_{evap}}{T_{cond} - T_{evap}}$$

$$COP_{RC} = \frac{-31}{32+31}$$

$$COP_{RC} = 3,84$$

Mediante la e la ec.2.2 se determina el trabajo de compresión:

$$W_c = h_2 - h_1$$

$$W_c = 405 - 360$$

$$W_c = 45 \text{ (KJ/Kg)}$$

De la ec. 2.3 se obtiene el Calor total cedido por el refrigerante al medio condensante:

$$q_{cond} = h_2 - h_3$$

$$q_{cond} = 405 - 240$$

$$q_{con} = 165 \text{ (KJ/Kg)}$$

Con ayuda de la ec. 2.4 obtenemos el valor del efecto refrigerante:

$$q_0 = h_1 - h_4$$

$$q_0 = 360 - 240$$

$$q_0 = 120 \text{ (KJ/Kg)}$$

Mediante la ec. 2.5 se calcula el flujo másico:

$$\dot{m} = \frac{Q}{q_0}$$

$$\dot{m} = \frac{0,32 \text{ Kw}}{120 \text{ (KJ/Kg)}}$$

$$\dot{m}=0.002667 \text{ kg/s}$$

A través de la ec. 2.6 se tiene el coeficiente de funcionamiento:

$$COP_R = \frac{q_D}{W_C} > 1$$

$$COP_R = \frac{120}{45}$$

$$COP_R=2,67$$

Con la ec.2.8 determinamos el rendimiento del ciclo de refrigeración:

$$n_R = \frac{COP_R}{COP_{RC}}$$

$$n_R = \frac{2,67}{3,84}$$

$$n_R = 69,38 \%$$

Eficiencia isoentrópica del ciclo de refrigeración de conservación

$$n_{iso} = \frac{h_2 - h_1}{h_2' - h_1}$$

$$n_{iso} = \frac{400 - 360}{405 - 360}$$

$$n_{iso} = 88,9 \%$$

4.9.3 Funcionamiento simultaneo de la cámara de conservación y congelación sin carga.

Los objetivos de la prueba son los siguientes:

- Determinar en qué tiempo la cámara de conservación alcanza la temperatura de 2°C, para ello nos vamos a valer de una gráfica Temperatura vs Tiempo.

- Trazado del ciclo real de funcionamiento de la cámara de conservación y determinar los parámetros sin producto.

Lugar donde se realizó la prueba:	Riobamba-Ecuador
Fecha de la prueba:	22 de abril 2010
Hora de inicio de la prueba:	11h25
Temperatura del ambiente:	22°C
Temperatura inicial de la cámara de conservación:	21°C
Temperatura inicial de la cámara de congelación:	21°C
Humedad del ambiente:	43%
Hora final de la prueba:	13h30

En el **ANEXO 19.** , indica la tabla de resultados de temperatura en función del tiempo; necesitando de un tiempo de 20 minutos con 30 segundos, para obtener una temperatura de 2°C en la cámara de conservación y una temperatura de 3 °C en la cámara de congelación, siendo la temperatura deseada en dicha cámara -15 °C..

En este proceso consume 5,2 Amperios durante el funcionamiento simultáneo de los dos sistemas de refrigeración de conservación y congelación sin carga.

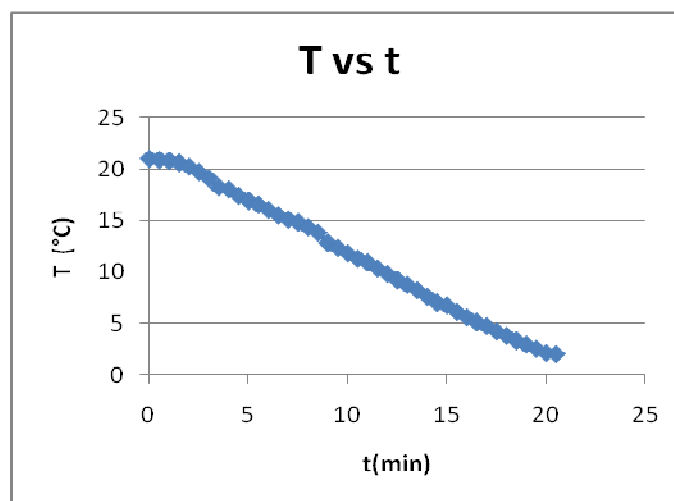


Fig. 4.34 Gráfica de la cámara de conservación cuando están funcionando simultáneamente los sistemas sin carga.

Trazado del ciclo real de la cámara de conservación sin carga funcionando los dos sistemas simultáneamente.

Para dibujar el ciclo de operación del sistema de refrigeración en el diagrama presión – entalpía, se tomaron los siguientes datos de temperatura y presión, en los siguientes puntos.

Tabla 4.10 Datos obtenidos en las pruebas del ciclo real de operación de la cámara de conservación sin carga funcionando los dos sistemas simultáneamente.

Sensor temp.	Punto estado	Ubicación	Temp. (°C)	Presión (psig)
1	1'	Entrada del compresor	-12	
2	c'	Salida del compresor	62	220
3	3'	Entrada de la válv. expans. term.	29	
4	e	Salida del evaporador	-15	29

Los datos de temperatura de los sensores 1, 2, 3 y 4 se obtuvieron mediante las curvas respectivas de cada sensor a continuación se detalla el comportamiento de cada curva.

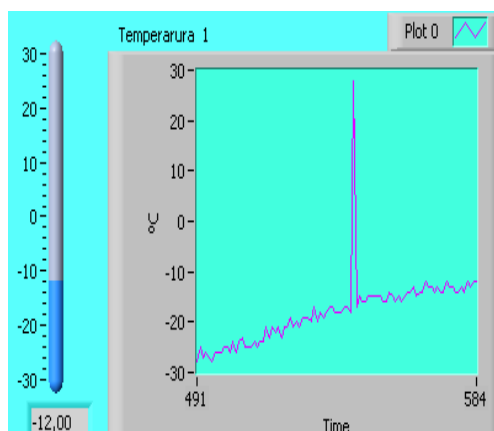


Fig. 4.35 Temperatura de entrada del compresor cuando funciona la cámara de congelación y conservación simultáneamente sin carga

La **fig.4.35** indica la temperatura a la entrada del compresor que parte de una temperatura inicial de **-25 °C**, que a medida que el tiempo de funcionamiento del sistema de refrigeración de conservación va estabilizándose, esta temperatura se estabiliza desde un tiempo inicial en segundos hasta llegar a la temperatura deseada.

Podemos observar que la temperatura en este punto alcanza a **-12 °C** cuando la temperatura de la cámara de conservación llega a **2 °C** que es la temperatura deseada.

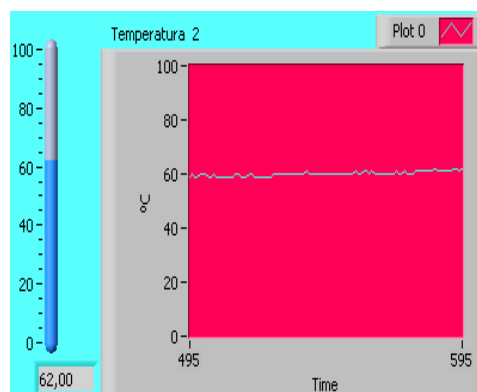


Fig. 4.36 Temperatura a la salida del compresor cuando funciona la cámara de congelación y conservación simultáneamente sin carga

En la **fig.4.36** se puede observar la temperatura a la salida del compresor que parte desde una temperatura inicial **26 °C** y desde un tiempo inicial de funcionamiento en segundos, que a medida que va incrementando el tiempo de funcionamiento del sistema de refrigeración la temperatura se va a ir estabilizando.

Podemos observar que la temperatura en este punto se va estabilizando cuando llega a los **62 °C** y esto ocurre cuando en la cámara de conservación llega a la temperatura deseada de **2 °C**.

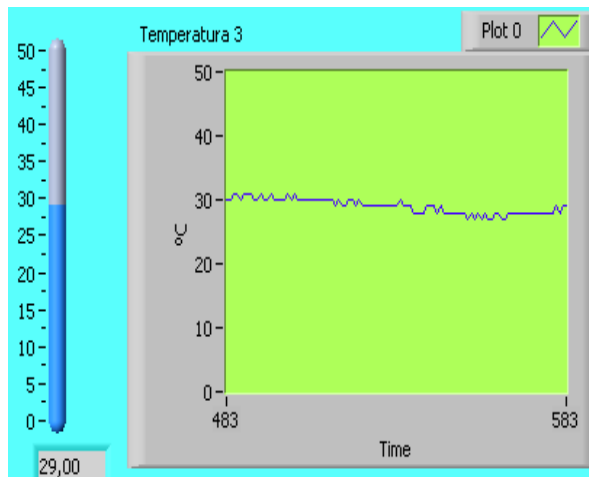


Fig. 4.37 Temperatura a la entrada de vál. Expansión cuando funciona la cámara de congelación y conservación simultáneamente sin carga

En la **fig.4.37** se puede observar que la temperatura a la entrada de la válvula de expansión parte de una temperatura inicial de 20 °C en un tiempo inicial en segundos, la que en este caso decreciente su temperatura hasta estabilizarse.

Como podemos observar en este punto la temperatura se estabiliza a 29 °C una vez que la cámara de conservación alcanza la temperatura deseada de 2 °C.

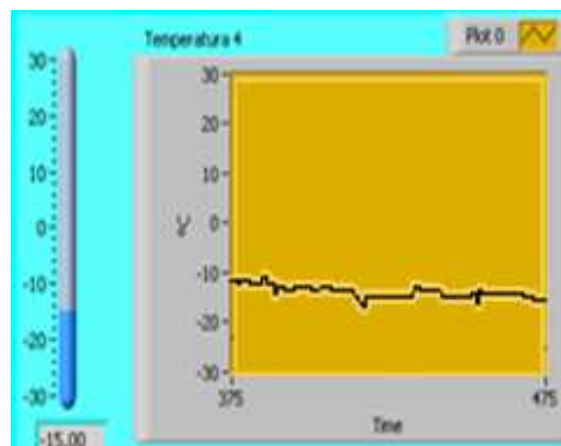


Fig. 4.38 Temperatura a la salida del evaporador cuando funciona la cámara de congelación y conservación simultáneamente sin carga.

La **fig.4.38** indica la temperatura a la salida del evaporador la misma que parte en ese instante de tiempo de una temperatura inicial de -19 °C en un intervalo inicial de tiempo en segundos, la misma que desciende a medida que transcurre el tiempo de funcionamiento del sistema de refrigeración de conservación.

Podemos observar que cuando la cámara de conservación llega a su temperatura deseada de **2 °C**, la temperatura a la salida del evaporador es de **-29 °C**, temperatura en la que tiende a estabilizarse.

Las presiones se obtuvieron mediante los manómetros instalados en el sistema es decir el manómetro de alta presión y el de baja presión cabe indicar que las presiones aquí tomadas son manométricas.

Al haber determinado las presiones manométricas, inmediatamente determinamos las presiones de evaporación y condensación absolutas mediante la siguiente expresión.

$$P_{absoluta} = P_{manometrica} + P_{atmosférica}$$

Donde:

Presión atmosférica en la Epoch: 525mmHg-10.2 psi

Por lo tanto:

$$P_{evap} = 29 + 10.2 = 39.2 \text{psia (0.27 MPa)}.$$

$$P_{cond} = 220 + 10.2 = 230.2 \text{psia (1.58MPa)}.$$

Al haber determinado la presiones de evaporación y condensación, en la tabla de propiedades del Refrigerante R-404A **ANEXO 3.**, determinamos las temperaturas de evaporación y condensación.

$$\text{Presión de evaporación } (p_{evap}) = 0.27 \text{ Mpa (39.2 psia)}$$

$$\text{Presión de condensación } (p_{cond}) = 1.58 \text{ Mpa (230.2 psia)}$$

$$\text{Temperatura de evaporación } (T_{evap}) = -23^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Temperatura de condensación } (T_{cond}) = 34^{\circ}\text{C}$$

La caída de presión por el efecto de fricción sobre el flujo del vapor en la tubería de succión y accesorios se considera 0.028MPa (4psia).

Para determinar la presión de descarga se considera una caída de presión en la línea de descarga de 0.04MPa (6psia) razón por la cual:

$$P_{cond} = P_{des} - \Delta P_{des}$$

Donde:

P_{cond} : Presión de condensación.

P_{des} : Presión de descarga.

ΔP_{des} : caída de presión en la línea de descarga.

$$P_{des} = 1.58 + 0.04 = 1.62 \text{ MPa}$$

En función de los datos antes mencionados con la ayuda de la Gráfica del refrigerante R-404 A procedemos a graficar el ciclo real de la cámara de conservación sin carga **ANEXO 20**. funcionando los dos sistemas simultáneamente.

Tabla 4.11 Propiedades de los estados del ciclo de operación de la cámara de conservación sin carga funcionando los dos sistemas simultáneamente.

Punto de estado	Entalpía (KJ/Kg)
b	361
2'	410
3'	235
c	401

De la ec.2.1 se obtiene el coeficiente de funcionamiento del Refrigerador de Carnot:

$$COP_{RC} = \frac{T_{evap}}{T_{cond} - T_{evap}}$$

$$COP_{RC} = \frac{-23}{34 + 23}$$

$$COP_{RC} = 4,3$$

Mediante la e la ec.2.2 se determina el trabajo de compresión:

$$W_c = h_2 - h_1$$

$$W_c = 410 - 361$$

$$W_c = 49 \text{ (KJ/Kg)}$$

De la ec. 2.3 se obtiene el Calor total cedido por el refrigerante al medio condensante:

$$q_{cond} = h_2 - h_3$$

$$q_{cond} = 410 - 235$$

$$q_{con} = 175 \text{ (KJ/Kg)}$$

Con ayuda de la ec. 2.4 obtenemos el valor del efecto refrigerante:

$$q_0 = h_1 - h_4$$

$$q_0 = 361 - 235$$

$$q_0 = 126 \text{ (KJ/Kg)}$$

Mediante la ec. 2.5 se calcula el flujo másico:

$$\dot{m} = \frac{Q}{q_0}$$

$$\dot{m} = \frac{0,32 \text{ Kw}}{126 \text{ (KJ/Kg)}}$$

$$\dot{m} = 0.002539 \text{ kg/s}$$

A través de la ec. 2.6 se tiene el coeficiente de funcionamiento:

$$COP_R = \frac{q_0}{W_c} > 1$$

$$COP_R = \frac{126}{49}$$

$$COP_R = 2,57$$

Con la ec.2.8 determinamos el rendimiento del ciclo de refrigeración:

$$n_R = \frac{COP_R}{COP_{RC}}$$

$$n_R = \frac{2,57}{4,39}$$

$$n_R = 58,59 \%$$

Eficiencia isoentrópica del ciclo de refrigeración de conservación.

$$n_{iso} = \frac{h_2 - h_1}{h_2 - h_1}$$

$$n_{iso} = \frac{401 - 361}{410 - 361}$$

$$n_{iso} = 81,6 \%$$

4.9.4 Funcionamiento simultaneo de la cámara de conservación y congelación con carga.

Los objetivos de la prueba son los siguientes:

- Determinar en qué tiempo la cámara de conservación alcanza la temperatura de 2°C, para ello nos vamos a valer de una gráfica Temperatura vs Tiempo.
- Trazado del ciclo real de funcionamiento de la cámara de conservación y determinar los parámetros de refrigeración sin producto.

Lugar donde se realizó la prueba:	Riobamba-Ecuador
Fecha de la prueba:	23 de abril 2010
Hora de inicio de la prueba:	8h40
Temperatura del ambiente:	19°C
Temperatura inicial de la cámara de conservación:	19°C
Temperatura inicial de la cámara de congelación:	19°C
Humedad del ambiente:	44%
Hora final de la prueba:	11h00

En el **ANEXO 19.**, se indica la tabla de resultados de temperatura en función del tiempo; necesitando de un tiempo de 18 minutos con 53 segundos, para obtener una temperatura de 2°C en la cámara de conservación y una temperatura de -3 °C en la cámara de congelación, siendo su temperatura deseada -15 °C.

En este proceso consume 5,2 Amperios durante el funcionamiento simultáneo de los dos sistemas de refrigeración de conservación y congelación con carga.

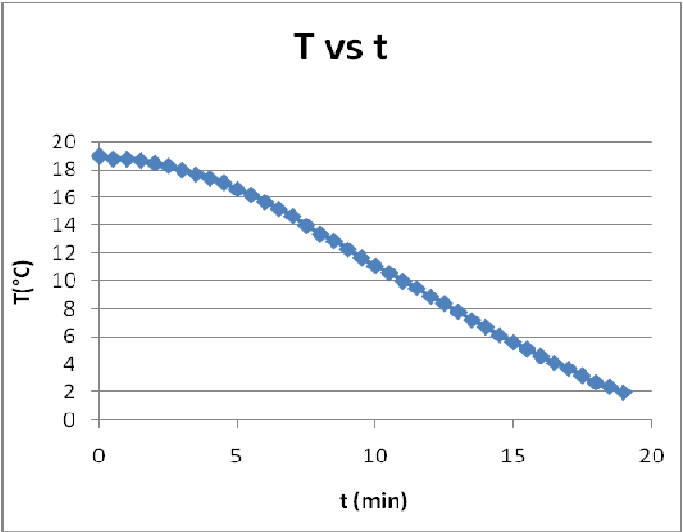


Fig. 4. 39 Gráfica de la cámara de conservación cuando están funcionando los dos sistemas simultáneamente con carga.

Trazado del ciclo real de la cámara de conservación con carga funcionando los dos sistemas simultáneamente.

Para dibujar el ciclo de operación del sistema de refrigeración en el diagrama presión – entalpía, se tomaron los siguientes datos de temperatura y presión, en los siguientes puntos.

Tabla 4.12 Datos obtenidos en las pruebas del ciclo real de operación de la cámara de conservación con carga funcionando los dos sistemas simultáneamente.

Sensor temp.	Punto estado	Ubicación	Temp. (°C)	Presión (psig)
1	1'	Entrada del compresor	-13	
2	c'	Salida del compresor	58	225
3	3'	Entrada de la válv. expans. term.	24	
4	e	Salida del evaporador	-15	30

Los datos de temperatura de los sensores 1, 2, 3 y 4 se obtuvieron mediante las curvas respectivas de cada sensor a continuación se detalla el comportamiento de cada curva.

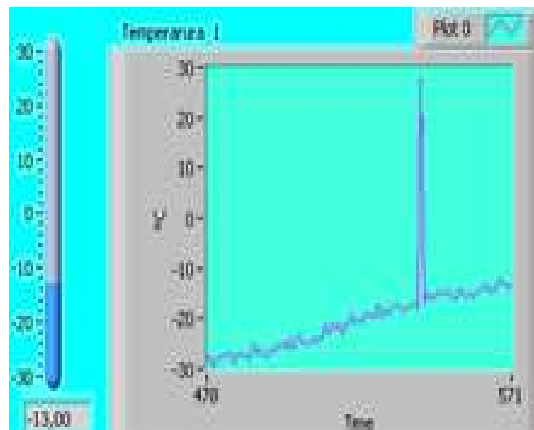


Fig.4.40 Temperatura de entrada del compresor cuando funciona la cámara de conservación con carga funcionando los dos sistemas simultáneamente

La **fig.4.40** indica la temperatura a la entrada del compresor que parte en ese instante de tiempo de una temperatura inicial de -28 °C, que en este caso con el tiempo de funcionamiento su temperatura va ascendiendo hasta que en un tiempo determinado llega a la temperatura deseada en la cámara de conservación de 2 °C. Observamos que el sistema se estabiliza a los -13 °C.

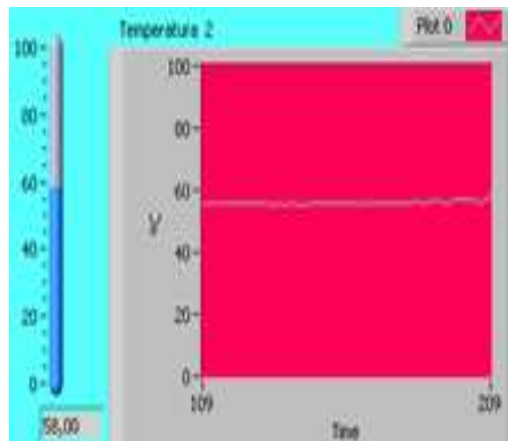


Fig. 4.41 Temperatura a la salida del compresor cuando funciona la cámara de conservación con carga funcionando los dos sistemas simultáneamente.

En la **fig.4.41** se puede observar la temperatura a la salida del compresor que parte desde una temperatura inicial de 25 °C y desde un tiempo inicial de funcionamiento en segundos, que a medida que va incrementando el tiempo de funcionamiento del sistema de refrigeración de los dos procesos se va estabilizando.

Podemos observar que la temperatura en este punto se ha estabilizado en un intervalo de tiempo de funcionamiento a **58 °C** y esto ocurre cuando en la cámara de conservación llega a la temperatura deseada de **2 °C**.

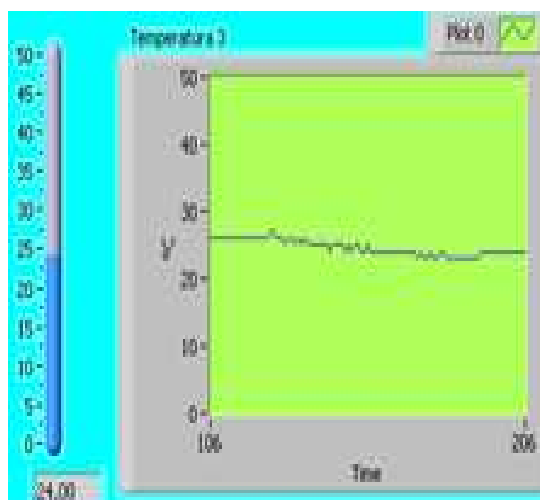


Fig.4.42 Temperatura a la entrada de vál. expansión cuando funciona la cámara de conservación con carga funcionando los dos sistemas simultáneamente.

En la **fig.4.42** se puede observar que la temperatura a la entrada de la válvula de expansión parte de una temperatura inicial de **28 °C** en un tiempo inicial de funcionamiento en segundos, la que se observa para estabilizarse tiene que bajar la temperatura.

Como podemos observar en este punto la temperatura se estabiliza a **24 °C** una vez que la cámara de conservación alcanza la temperatura deseada de **2 °C**.

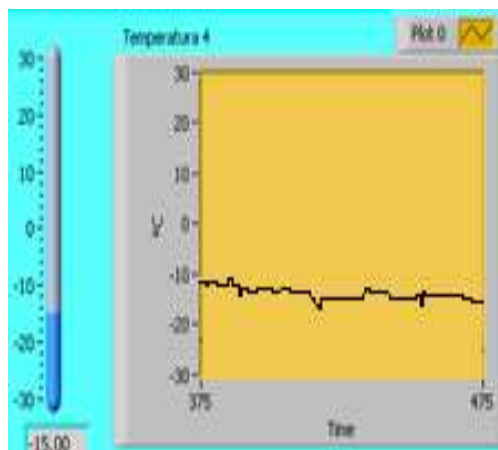


Fig. 4.43 Temperatura a la salida del evaporador cuando funciona la cámara de conservación con carga funcionando los dos sistemas simultáneamente.

La **fig.4.43** indica la temperatura a la salida del evaporador la misma que parte en ese instante de tiempo de una temperatura inicial de **-11 °C** en un tiempo inicial de funcionamiento en segundos, la misma que desciende a medida que transcurre el tiempo de funcionamiento del sistema de refrigeración.

Podemos observar que cuando la cámara de conservación llega a su temperatura deseada de **2 °C**, la temperatura a la salida del evaporador es de **-15 °C**, temperatura en la que tiende a estabilizarse.

Las presiones se obtuvieron mediante los manómetros instalados en el sistema es decir el manómetro de alta presión y el de baja presión cabe indicar que las presiones aquí tomadas son manométricas.

Al haber determinado las presiones manométricas, inmediatamente determinamos las presiones de evaporación y condensación absolutas mediante la siguiente expresión.

$$P_{absoluta} = P_{manometrica} + P_{atmosferica}$$

Donde:

Presión atmosférica en la Epoch: 525mmHg-10.2 psi

Por lo tanto:

$$P_{evap} = 30 + 10.2 = 39.2 \text{psia (0.27 MPa)}.$$

$$P_{cond} = 225 + 10.2 = 235.2 \text{psia (1.58MPa)}.$$

Al haber determinado la presiones de evaporación y condensación, en la tabla de propiedades del Refrigerante R-404A **ANEXO 3.** , determinamos las temperaturas de evaporación y condensación.

$$\text{Presión de evaporación } (p_{evap}) = 0.27 \text{ Mpa (39.2 psia)}$$

$$\text{Presión de condensación } (p_{cond}) = 1.58 \text{ Mpa (230.2 psia)}$$

$$\text{Temperatura de evaporación } (T_{evap}) = -23^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Temperatura de condensación } (T_{cond}) = 34^{\circ}\text{C}$$

La caída de presión por el efecto de fricción sobre el flujo del vapor en la tubería de succión y accesorios se considera 0.028MPa (4psia).

Para determinar la presión de descarga se considera una caída de presión en la línea de descarga de 0.04MPa (6psia) razón por la cual:

$$P_{cond} = P_{des} - \Delta P_{des}$$

Donde:

P_{cond} : Presión de condensación.

P_{des} : Presión de descarga.

ΔP_{des} : caída de presión en la línea de descarga.

$$P_{des} = 1.58 + 0.04 = 1.62 \text{MPa}$$

En función de los datos antes mencionados con la ayuda de la Grafica del refrigerante R-404 A procedemos a graficar el ciclo real de la cámara de conservación con carga **ANEXO 20.**, funcionando los dos sistemas simultáneamente.

Tabla 4.13 Propiedades de los estados del ciclo de operación de la cámara de conservación de conservación con carga funcionando los dos procesos simultáneamente.

Punto de estado	Entalpía (KJ/Kg)
b	370
2'	411
3'	240
c	402

De la ec.2.1 se obtiene el coeficiente de funcionamiento del Refrigerador de Carnot:

$$COP_{RC} = \frac{T_{evap}}{T_{cond} - T_{evap}}$$

$$COP_{RC} = \frac{-23}{34 + 23}$$

$$COP_{RC} = 4,39$$

Mediante la e la ec.2.2 se determina el trabajo de compresión:

$$W_c = h_2 - h_1$$

$$W_c = 411 - 370$$

$$W_c = 41 \text{ (KJ/Kg)}$$

De la ec. 2.3 se obtiene el Calor total cedido por el refrigerante al medio condensante:

$$q_{cond} = h_2 - h_3$$

$$q_{cond} = 411 - 240$$

$$q_{con} = 171 \text{ (KJ/Kg)}$$

Con ayuda de la ec. 2.4 obtenemos el valor del efecto refrigerante:

$$q_0 = h_1 - h_4$$

$$q_0 = 370 - 240$$

$$q_0 = 130 \text{ (KJ/Kg)}$$

Mediante la ec. 2.5 se calcula el flujo másico:

$$\dot{m} = \frac{Q}{q_0}$$

$$\dot{m} = \frac{0,32 \text{ Kw}}{130 \text{ (KJ/Kg)}}$$

$$\dot{m} = 0.002462 \text{ kg/s}$$

A través de la ec. 2.6 se tiene el coeficiente de funcionamiento:

$$COP_R = \frac{q_0}{W_C} > 1$$

$$COP_R = \frac{130}{41}$$

$$COP_R = 3,1$$

Con la ec.2.8 determinamos el rendimiento del ciclo de refrigeración:

$$\eta_R = \frac{COP_R}{COP_{RL}}$$

$$\eta_R = \frac{3,17}{4,39}$$

$$\eta_R = 72,25 \%$$

Eficiencia isoentrópica del ciclo de refrigeración de conservación

$$\eta_{iso} = \frac{h_2 - h_1}{h_2' - h_1}$$

$$\eta_{iso} = \frac{402 - 370}{411 - 370}$$

$$\eta_{iso} = 78 \%$$

4.10 Análisis de resultados

El banco de refrigeración de conservación en un principio su funcionamiento no permanece estable en su encendido y apagado debido a que al encender el equipo desde una temperatura ambiente debe enfriar no solo la cámara frigorífica sino también toda su estructura y por lo tanto eso significa que mientras el sistema no esté totalmente frío en su totalidad no se va a estabilizar.

Las pruebas fueron realizadas en el banco de conservación de forma individual y también de forma simultánea con el banco de congelación, en lo que se pudo observar que si el sistema está con carga se demora más tiempo en estabilizarse que cuando funciona sin carga, y cuando funcionan los dos bancos simultáneamente ocurre lo mismo. El tiempo mínimo que se demora en estabilizarse tanto cuando funciona de forma individual de cuando funciona simultáneamente es de una hora.

El rendimiento del ciclo de refrigeración cuando el sistema funciona con carga ya sea en un proceso individual o dos procesos simultáneamente es mayor como se puede apreciar en los cálculos correspondientes, que cuando funciona sin carga.

La eficiencia isoentrópica según los cálculos realizados mediante los diagramas respectivos se puede observar que las eficiencias están dentro de los parámetros de funcionamiento real del compresor.

En el sistema de refrigeración cuando funciona solo la cámara de congelación consume 5.2 Amperios, y cuando funciona solo la cámara de conservación consume 4.3 Amperios, y cuando funcionan los dos sistemas de conservación y de congelación simultáneamente consume 6 Amperios.

La válvula reguladora de presión de evaporación nos asegura que el funcionamiento simultáneo de las dos cámaras, tanto la de congelación como la de conservación, sea correcto. Debido a que en la cámara de conservación tenemos una presión de diseño de baja de 0.5 Mpa que es mayor a la presión de diseño de baja de congelación que es de 0.3 Mpa. Siendo aquí donde actúa la válvula reguladora de presión igualando las presiones de baja de las dos cámaras.

El control tanto para la cámara de conservación como la de congelación se puede observar como el controlador lógico PLC, esta monitoreando los dispositivos de entrada tales como, señales de temperatura, señales del presóstato, etc. y controlando las salidas respectivas como son: válvulas, ventiladores, unidad condensadora, a través de este controlador fácilmente se puede observar el funcionamiento adecuado de todos los dispositivos que forman parte del control del sistema de refrigeración.

4.11 ELABORACIÓN DE LAS GUÍAS DE LABORATORIO.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

LABORATORIO DE REFRIGERACIÓN

Práctica N°: 01

**TEMA: CICLO DE REFRIGERACIÓN SIMPLE DE UNA ETAPA CON
PRODUCTO**

Objetivos:

- Determinar los puntos de estado del ciclo real de refrigeración.
- Determinar los parámetros del ciclo de refrigeración real simple.
- Obtener gráficas de Temperatura vs Tiempo.

Equipo y materiales:

- Banco de refrigeración.
- Tablero de control.
- Computadora.
- Manómetros de alta y baja presión.
- Gráfico del refrigerante R-404 A.
- Cable de comunicación de la toma de datos de temperatura.

Marco teórico:

Ciclo invertido de Carnot

El Ciclo de Carnot invertido es el modelo perfecto del ciclo de refrigeración por compresión de vapor más eficiente que opera entre dos temperaturas y que constituye un estándar de comparación con los ciclos reales de refrigeración: [2]

El ciclo invertido de Carnot consta de dos procesos isotérmicos (DA-CB), y dos procesos isoentropicos (DC-AB).

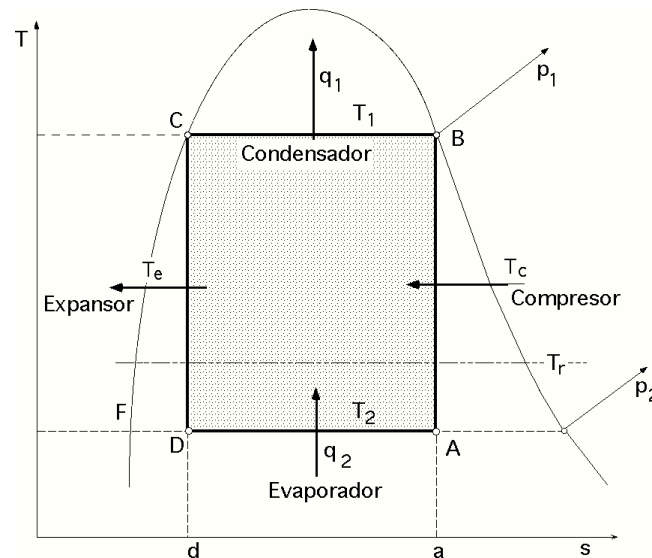


Fig. 2.1 Ciclo invertido de Carnot Temperatura vs Entropía

Funcionamiento del ciclo invertido de Carnot:

Un compresor accionado por un motor aumentaría la presión del fluido desde p_2 a p_1 , según la transformación (AB), alcanzando la temperatura T_1 ; esta compresión sería seguida de una condensación isotérmica (BC) en la que el calor q_1 es evacuado.

El fluido una vez licuado se expande isotérmicamente (CD), disminuyendo su presión y temperatura, con lo que se vaporiza parcialmente, llegando en estas condiciones al evaporador, estado D, iniciándose la vaporización isotérmica (DA).

El coeficiente de funcionamiento del Refrigerador de Carnot viene dado por la siguiente expresión:

$$COP_{RC} = \frac{T_{evap}}{T_{cond} - T_{evap}} \quad (2.1)$$

Donde:

COP_{RC} : Coeficiente de funcionamiento del Refrigerador de Carnot.

T_{evap} : Temperatura de evaporación [$^{\circ}K$].

T_{cond} : Temperatura de condensación [$^{\circ}K$].

Ciclo de refrigeración real por compresión mecánica

En un ciclo de refrigeración real por compresión mecánica de vapor, la variación principal ocurre en el compresor. Las variaciones y temperaturas debido a posibles recalentamientos y subenfriamiento del refrigerante y caídas de presión en los diferentes elementos componentes de la instalación.

Se observa que el punto uno se ha reemplazado en función de la temperatura y presión, se localiza en la zona de vapor recalentado; esto es, debido al recalentamiento del refrigerante (1-1') ΔT_1 sea en el evaporador y/o en la tubería de aspiración y el aumento de temperatura del refrigerante (a-b) ΔT_2 cuando entra en contacto con la superficie de la cámara de compresión, además de la caída de presión ΔP_m en la válvula de aspiración o línea de succión. Esta variación produce un aumento refrigerante acompañado con la disminución del peso del refrigerante aspirado, una temperatura final de compresión muy elevada puede incidir en comprometer cambios notables en las propiedades del aceite lubricante (peligro de rotura de film lubricante entre pistón y cilindro por una excesiva disminución de la viscosidad del aceite), punto negativo que obliga a evitar valores exagerados de recalentamiento con la debida utilización de aislamiento térmico en la tubería de aspiración. [1]

El vapor es comprimido hasta una presión considerablemente mayor que la presión de condensación, para forzar la salida de vapor a través de la válvula de descarga. La caída de presión en la línea de descarga ΔP_d (c'-2') es necesaria para forzar la apertura de la válvula de descarga.

De otro lado observamos al punto 3 en la zona de sub. Enfriamiento, estado en cual permite obtener en el punto cuatro una menor temperatura y mayor concentración de refrigerante líquido, aumentando el valor del efecto refrigerante. (**Ver figura 2-4**).

Principales parámetros del ciclo de refrigeración

a) Trabajo de compresión

El trabajo de compresión está definido por la siguiente expresión:

$$W_c = h_2 - h_1 \quad (2.2)$$

Donde:

W_c : Trabajo de compresión. [KJ/Kg]

h_1 : Entalpía del vapor saturado, en el punto de estado 1. [KJ/Kg]

h_2 : Entalpía del vapor sobrecalentado, en el punto de estado 2. [KJ/Kg]

b) El calor cedido del refrigerante al medio condensante

El calor cedido del refrigerante al medio condensante puede expresarse:

$$q_{cond} = h_2 - h_3 \quad (2.3)$$

Donde:

q_{cond} : Calor de condensación. [KJ/Kg]

h_2 : Entalpía del vapor sobrecalentado, en el punto de estado 2. [KJ/Kg]

h_3 : Entalpía del líquido saturado, en el punto de estado 3. [KJ/Kg]

c) Efecto refrigerante

La cantidad de calor absorbida por el refrigerante en el evaporador se define como efecto refrigerante y viene definido por la siguiente expresión:

$$q_0 = h_1 - h_4 \quad (2.4)$$

Donde:

q_0 : Efecto refrigerante. [KJ/Kg]

h_1 : Entalpía del vapor saturado, en el punto de estado 1. [KJ/Kg]

h_4 : Entalpía del líquido saturado, en el punto de estado 3. [KJ/Kg]

d) Flujo másico

La masa de refrigerante circulado para producir la capacidad de refrigeración requerida, está dada por:

$$\dot{m} = \frac{Q}{q_0} \quad (2.5)$$

Donde:

\dot{m} : Flujo másico de refrigerante. [Kg/s]

Q : Capacidad frigorífica requerida. [KW]

e) Coeficiente de funcionamiento

La relación entre el efecto refrigerante y el trabajo de compresión viene definido como **efecto frigorífico o coeficiente de funcionamiento** (COP_R). Expresa la efectividad de la energía que se gasta en el proceso de compresión, con relación a la energía que es absorbida en el proceso de evaporación esta determinado mediante la siguiente expresión:

$$COP_R = \frac{q_0}{w_c} > 1 \quad (2.6)$$

Donde:

q_0 : Efecto refrigerante. [KJ/Kg]

w_c : Trabajo de compresión. [KJ/Kg]

f) Potencia teórica

La potencia del sistema está dada básicamente por la potencia del compresor está dada por la siguiente expresión:

$$P = \dot{m} * w_c \quad (2.7)$$

Donde:

P: Potencia teórica requerida por el compresor.[KW]

La potencia real por lo general 30% a 50% mayor que la potencia teórica calculada según la eficiencia del compresor. [3]

g) Eficiencia del ciclo de refrigeración

La eficiencia del ciclo de refrigeración se determina mediante la comparación con el ciclo invertido de Carnot definida por la siguiente expresión:

$$\eta_R = COP_R / COP_{RC} \quad (2.8)$$

Donde:

η_R : Eficiencia del ciclo de refrigeración

Procedimiento:

1. Conectar el enchufe en el suministro de energía eléctrica que abastecerá a nuestro sistema.



2. Colocar el interruptor Breaker en posición **ON** de la cámara de congelación.



3. Colocar el interruptor Breaker en posición **ON** de la cámara de conservación.



4. Colocar el guardamotor en la posición **ON** de la cámara de conservación.



5. Seleccionar mediante el selector de procesos el proceso 2 que corresponde a conservación (girar hacia la derecha).
6. Pulsar **ON** en el proceso 2.
7. Verificar por el visor de líquido si en el sistema está pasando refrigerante.
8. Esperar que la temperatura del sistema de refrigeración llegue a 2 grados centígrados.
9. El computador debe tener instalado el **software Labview** para dar inicio a la ejecución del programa **Fab** inmediatamente se desplazara 4 graficas Temperatura vs Tiempo que servirá para tomar datos de temperatura en los diferentes punto.
10. Llenamos los datos en la siguiente tabla.

Punto	Ubicación	Temp. (°C)	Presión (psig)
T1	Entrada del compresor		
T2	Salida del compresor		
T3	Entrada de la válv. expans. term.		
T4	Salida del evaporador		

11. Finalmente apagar el sistema de refrigeración pulsar el botón **STOP** del proceso 2.
12. Poner en la posición **OFF** el guardamotor, el breaker del proceso 1 del proceso 2, desconectar el display de temperaturas, el CPU y la fuente de alimentación.

Resultados

- Graficar el ciclo real de refrigeración mediante el diagrama respectivo.
- Comparar los parámetros reales y teóricos del ciclo de refrigeración.

- Cuál es la amplitud mayor de las gráficas Temperatura vs Tiempo.

Conclusiones

- Existe una variación significativa entre los parámetros reales y teóricos del sistema de refrigeración y debido a que se produce esta variación.
- Qué haría usted para mejorar el sistema de refrigeración para conservación.
- Cuál es la eficiencia isoentrópica del compresor existe alguna relación con los datos que nos facilita el fabricante.
-

RECOMENDACIONES:

BIBLIOGRAFÍA



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

LABORATORIO DE REFRIGERACIÓN

Práctica N°: 02

TEMA: Sistema de Automatización de la cámara de conservación

Objetivos:

- Identificar los componentes del sistema de refrigeración
- Identificar las entradas en el PLC.
- Identificar las salidas respectivas en el PLC
- En que lenguaje se ha programado el PLC

Equipo y materiales:

- Banco de refrigeración.
- Tablero de control.
- Computadora.
- Cable de comunicación RS232 SCADA.

Marco teórico:

Controladores lógicos programables (plc)

Es un controlador lógico programable



Un **controlador programable** es un sistema de control de estado sólido que monitorea el estado de dispositivos como son los inputs. Controla el estado de los dispositivos conectados como outputs.

Concepto de PLC

Es un equipo electrónico, programable, diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente de tipo industrial procesos secuenciales.

¿Para qué sirve un PLC?

Existen tres lógicas para realizar circuitos de control automático:

Lógica cableada (Eléctrica, cables, contactores, relees).

Lógica Integrada (Electrónica, circuitos integrados).

Lógica con software (PLC).

Características de los PLC's

- Es compacto
- Resistente a condiciones industriales
- Son de fácil maniobrabilidad
- Se puede cambiar fácilmente de control sin necesidad de cambiar conexiones
- Son rápidos
- Pueden ser monitoreados

Modulo de entrada

- Todo PLC tiene un modulo de entradas.
- Por el recibe las señales de las condiciones físicas que controla.
- A el se conectan los sensores, finales de carrera, presostatos, etc.

Dispositivos de entrada

- Botones Switches de selección.
- Switches de nivel
- Sensores de nivel
- Sensores de Temperatura.
- Pulsadores ON, OFF.



Modulo de salidas

- Todo PLC tiene un modulo de salida.
- Por el envía señales a los actuadores del proceso que controla.
- A el se conectan, señales luminosas, motores, relees, válvulas, etc.

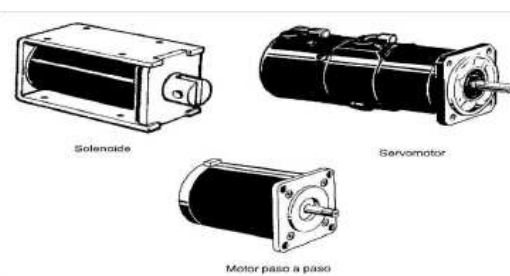
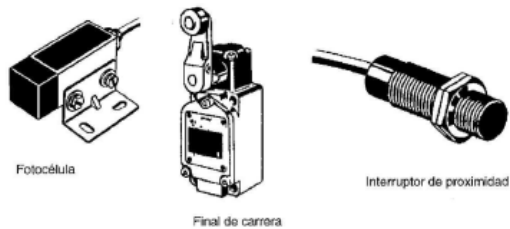
Dispositivos de salidas

- Válvulas
- Motores
- Motores de Paso
- Solenoides
- Control Relees
- Alarmas
- Luces
- Ventilador
- Hornos



Dispositivos de E/S

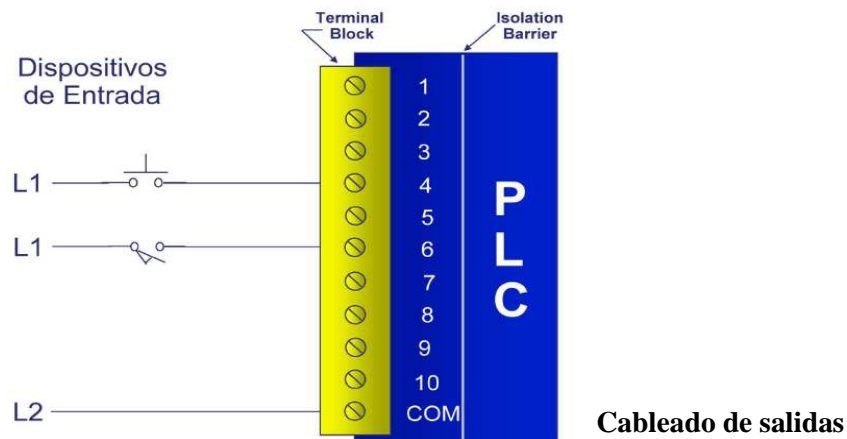
El PLC recibe señales de entrada tales como, pulsadores, teclados, selector de procesos, señales de temperatura.



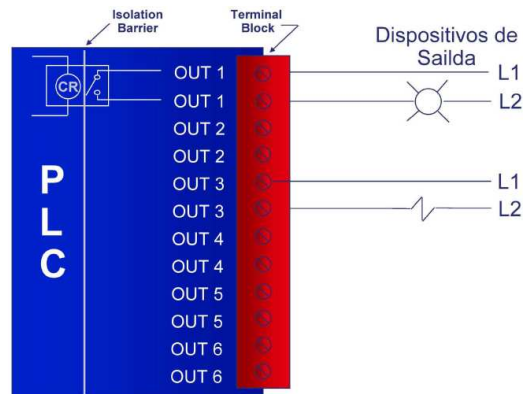
El PLC activa mediante su salida, válvulas, solenoides, contactores, indicadores luminosos.

Cableado de las entradas

En el grafico siguiente se puede observar cómo deben cablearse los diferentes dispositivos de entrada.



El cableado de las salidas se deben realizar de la siguiente manera como se indica en el grafico.



CPU

- Es el modulo principal, es el cerebro del PLC.
- En el se encuentra los diferentes tipos de memoria.
- En el se encuentra el programa de control.

Modulo de programación

- Sirve para ingresar el programa de control
- Puede ser integrado al PLC o externo

- Puede utilizarse en muchos PLC a una computadora como modulo de programación.

Periféricos

- **Display.-** Sirve para observar el programa o monitorear el mismo.
- No todos los PLC disponen de display
- **Modulo de comunicaciones.-** Sirve para comunicarse entre PLC o entre PLC y computadora.

Tipos de señales

- Un PLC trabaja por lo general con dos tipos de señales tanto en las entradas como en las salidas:
- Señales digitales
- Señales analógicas

Señales Analógicas

- Son señales que pueden tomar un infinito número de valores en el tiempo comprendido entre dos límites un máximo y un minino.
- La señal es continua.

Señales Digitales

- Son señales que pueden tomar solo un determinado número de valores en el tiempo entre dos límites máximo y mínimo.
- La señal por tanto es por saltos y entre estos saltos no pueden tomar valores intermedios.

Resolución de una señal

- En realidad todo PLC trabaja con señales digitales.
- A las señales analógicas de entrada convierte internamente en una señal digital de diferentes resoluciones según la capacidad y tamaño del PLC.

Lenguajes de Programación

Así un PLC puede programarse en los siguientes lenguajes:

- FUP o diagrama de bloques.
- KOP o diagrama de contactos.
- AWL o lista de instrucciones

Procedimiento:

1. Conectar el enchufe en el suministro de energía eléctrica que abastecerá a nuestro sistema.



2. Colocar el interruptor Breaker en posición **ON** de la cámara de congelación.



3. Colocar el interruptor Breaker en posición **ON** de la cámara de conservación.



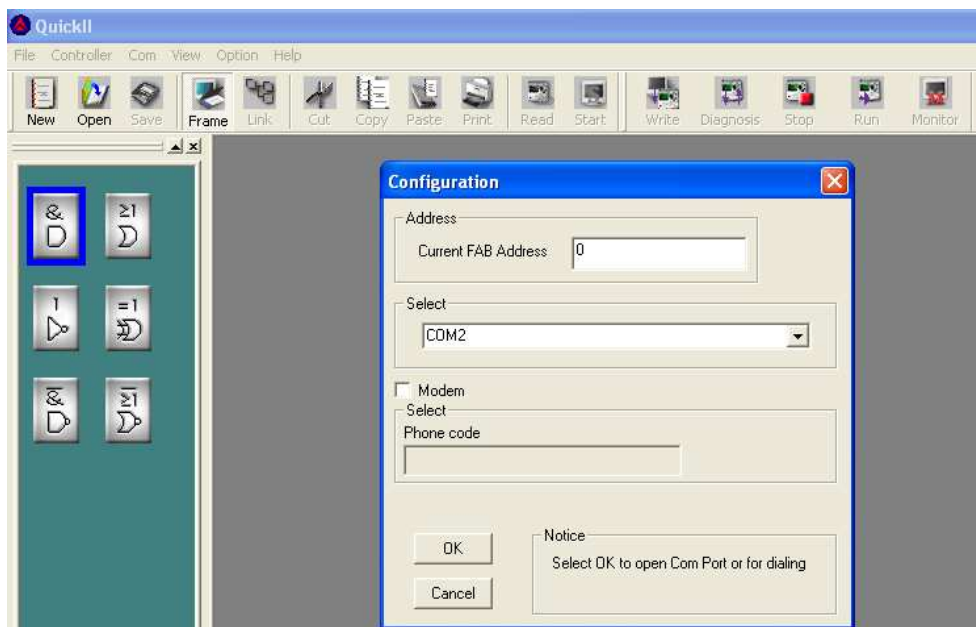
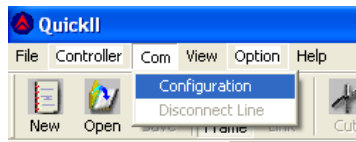
4. Colocar el guardamotor en la posición **ON** de la cámara de conservación.



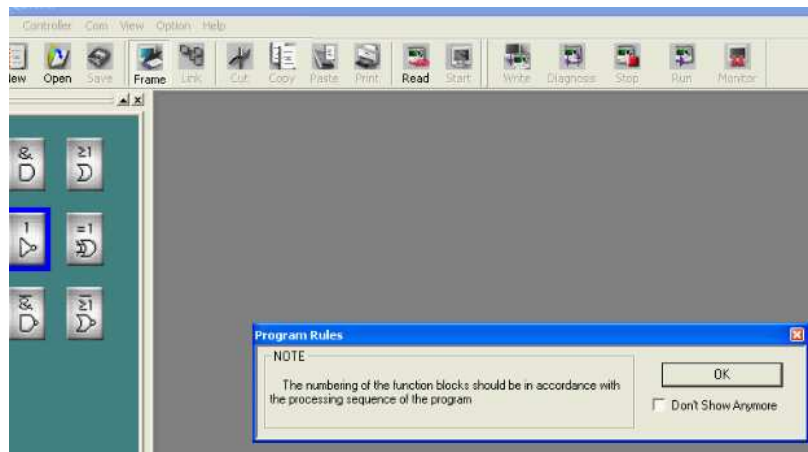
5. Seleccionar mediante el selector de procesos el proceso 2 que corresponde a conservación (girar hacia la derecha).
6. Pulsar **ON** en el proceso 2.
7. Conectar el cable de comunicación Scada al PLC y al CPU en sus respectivos puertos.

8. Abrir el programa específico del PLC denominado QUICK II que está instalado en el CPU.

- Haga clic en **COM** en la barra de menú principal aparecerá el siguiente cuadro seleccione configuración haga clic aparecerá la siguiente ventana.



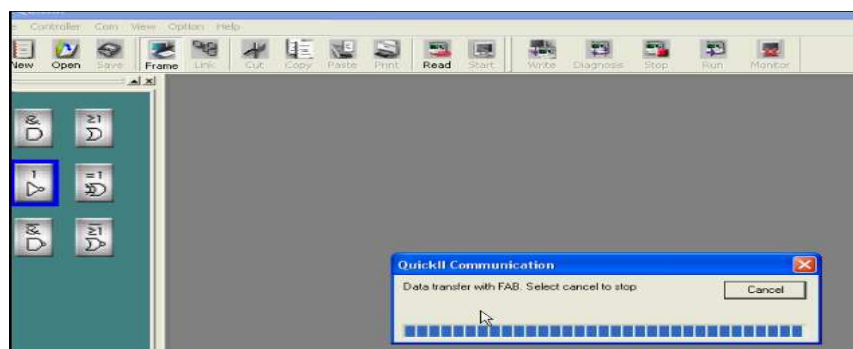
- Verificar que todos los datos estén idénticos al cuadro de dialogo luego dar clic en OK. Si los datos no están idénticos quiere decir que hay que cambiar de puerto el cable de comunicación en el CPU.
- Haga clic en **READ** aparecerá el siguiente cuadro de dialogo dar clic en OK.



- Después se mostrará una ventana en el cual se indica que ingrese la contraseña, una vez ingresada la contraseña se selecciona ok. La contraseña predefinida es 0000 cuatro veces el cero.



- Ya que se seleccionó el botón ok, aparecerá una ventana en el cual se observa que está cargando el programa en el controlador.

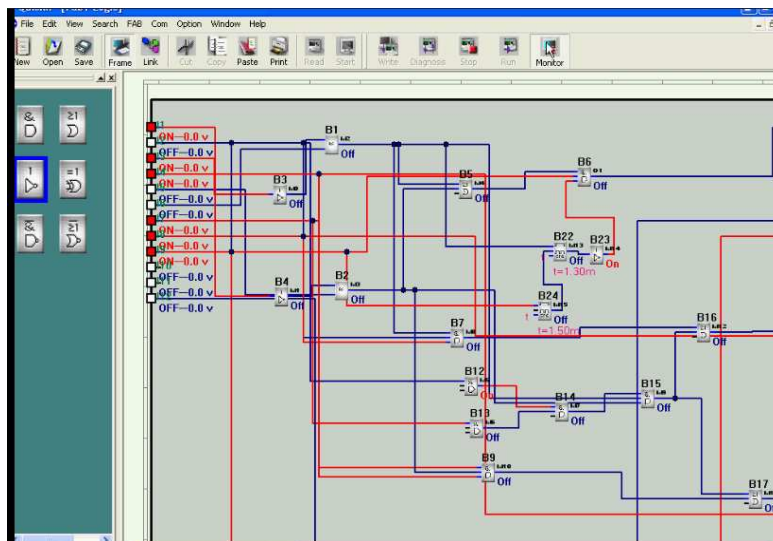


- Inmediatamente aparecerá el programa de funcionamiento del sistema de clic en maximizar y tenemos listo para el monitoreo respectivo.

- Para poder observar las salidas y las entradas que se activan se debe seleccionar el icono **Monitor** de la barra superior.



- Entonces en el diagrama del programa se activan las entradas y/o las salidas, en color rojo al manipularse directamente en el controlador.



9. Finalmente apagar el sistema de refrigeración pulsar el botón **STOP** del proceso 2.
10. Poner en la posición **OFF** el guardamotor, el breaker del proceso 1 del proceso 2 el CPU y la fuente de alimentación.

Resultados

- Cuáles son las entradas de la cámara de conservación.
- Identifique las salidas que controla el PLC.
- Mediante que lenguaje de programación se ha programado el PLC.

Conclusiones

- Cuál es la variable principal del sistema de control.
- Como está funcionando el sistema de control en el software específico del PLC.

RECOMENDACIONES:

BIBLIOGRAFÍA:

CAPÍTULO V

5. COSTOS Y MANTENIMIENTO

5.1 Generalidades

En todo proyecto de diseño y construcción se debe hacer un estudio de costos desde la adquisición de la materia prima hasta el momento de obtener el producto final para de esta forma saber la factibilidad del proyecto

5.2 Costos directos

Se debe considerar costos de materiales, mano de obra, herramientas y transporte:

Costos de materiales

Tabla 5.1 Costo del bastidor

Denominación	Descripción	Cantidad	V. unitario	V. total
Perfil estructural L	ASTM A36-(11/2x1/4)	2	28	48
Perfil estructural L	ASTM A36 - (3/4x1/8)	1	7	7
Electrodos	Aga 6011	0,5 lb.	2,0	1
Pintura	Anticorrosivo Color negro	1	8	8
Llantas	d=12 cm.	5	8	40
Madera	Triplex - e = 12cm	0,5	20	10
Varios				15
TOTAL				129
TOTAL (+IVA)				144,48

Tabla 5.2 Costo de la cámara de conservación

Denominación	Descripción	Cantidad	V. unitario	V. total
Planchas de Tool	ASTM A653 espesor = 0,9mm	3	32	96
Remaches	3/16 x 1/2 in	30	0,02	0,60
Lija para agua	# 320	5	0,50	2,50
Lija para agua	# 600	5	0,50	2,50
Masilla	Plast	2	5,00	10,00
Fondo	Multiprimer	0,5	12	6,00
Pintura	Poliuretano - color blanco	1	12	12
Tiñer	Poliuretano	0,5	3,5	1,75
Pernos	acero inoxidable 5/16 x2 in	30	0,20	6
Electrodos	Aga - 6011	0,5	2	1
Poliuretano	Quimipac - componente A	1 gal.	40	40
Poliuretano	Quimipac - componente B	1gal.	40	40
Cemento de contacto		1	0,80	0,80
Juego bisagras		1	19,0	19,0
Caucho para puerta		3 m	2,50	7,50
TOTAL				243,15
TOTAL (+IVA)				\$272,33

Tabla 5.3 Costos de los accesorios de la cámara de conservación

Denominación	Costo de la cámara de conservación descripción	Cantidad	V. unitario	V. total
Evaporador	Aire Forzado ½ HP 220V	1	49,28	49,28
Válvula de expansión	Danfoss R404A Eq-int TS-2	1	40	40
Orificio válv.expansión	Danfoss # 00	1	14	14

Válvula solenoide	Danfoss 3/8 rosca EVR-3	2	38	76
Bobina válv. Solenoide	Danfoss 220V EVR	2	26	52
Válvula de cierre	Danfoss 3/8 rosca BML-10	2	25	50
Manómetro de alta	Quality	1	15	15
Manómetro de baja	Quality	1	15	15
Dial manómetro de Alta y Baja	Quality	2	10	20
Tubería de cobre 3/8	Quality	20	1	20
Tubería de cobre 1/2	Quality	6	1,6	9,60
Tuerca reforzada 1/4		15	0,70	10,50
Tuerca reforzada 3/8		25	1	25
Tuerca reforzada 1/2		4	1,20	4,80
Unión rosca 3/8		4	1	4
T de cobre 1/2	saldable	2	2,19	4,38
Válvula reguladora de presión 1/2	ALCO OPR6 1/2	1	111,70	111,70
Acumulador de succión 1/2	soldadle	1	77	77
Reducción 1/2 a 3/8	saldable	15	0,90	13,50
Trampa sifón 1/2		1	5	5
Soldadura de plata 15%	Harris QSIL-15-1	8	4,80	38,40
Fundente de plata 4 oz.	Harris QFX-4	1	3	3
Caños aislantes	K-Flex 1/2x1/2x6 6 pies	3	2,40	7,20
Cinta aislante	Rubatex	1	6,5	6,5
TOTAL				671.86
TOTAL (+IVA)				\$752,48

Tabla 5.4 Costos de los accesorios del circuito eléctrico

Denominación	Descripción	Cantidad	V. unitario	V. total
Gabinete metálica	(40x30x20)cm.Beaucoup	1	30	30
Control temp. programable	Elect Deshielo Full Gauge MT-512RI	1	56	56
Contactor	GMC 12 3HP 3.5KW/220V	1	11,09	11,09
Relay	220V 11Pines redondos assin	5	4,85	24,25
Base Relay	11 Pines	5	1,80	9
Breaker	2x10 LS Riel Din	1	8,70	8,70
Luz Piloto	220V Camsco	3	1,30	3,90
Pulsador verde	22mm FPB/EA2/G Camsco	1	1,70	1,70
Pulsador rojo	22mm FPB/EA1/R Camsco	1	1,70	1,70
Contactor	GMC 18 5Hp 4.5KW/220V	1	16,10	16,10
Riel	Din 1m Aluminio	1	2,80	2,80
Cable flexible	TFF 16 Cableo	40	0,20	8
Cable flexible	AWG 18	10	0,80	8
Bornera	P/Riel Din#6 JxB10/35	25	0,90	22,50
Canaleta Ranurada	25x25 Gris Dexon	1	3,10	3,10
Prensa Estopa	5-10mm PG11	6	0,30	1,80
PLC	12Input 8Output Array	1	150	150
TOTAL				358,64
TOTAL (+IVA)				\$401,68

Tabla 5.5 Costo de elementos electrónicos para toma de datos de temperatura

Denominación	Descripción	Cantidad	V. unitario	V. total
Micro controlador	10-P1Q16F877	1	6,90	6,90
Sensor de temperatura	10-LM35DZ	4	3	12
Simplificador operacional	10-LM358N	4	0,45	1,80
Condensador	DOC22-50V	11	0,10	1,10
Potenciómetro Trimer	POT038	4	0,40	1,60
Cristal AMHZ	VAR514	1	0,65	0,65
R6232 Driver Reserver	10-max232N	1	2,40	2,40
Conector DBS Macho	DN150	1	0,75	0,75
Conector DBS Hembra	DN015	2	0,35	0,70
Tapa DB9	VAR168	2	0,35	0,70
Baquelita SIN	VAR335	1	8,90	8,90
Baquelita SIN	VAR347	1	9,90	9,90
Lamina transferible	VAR 115	1	2,60	2,60
Marcador Indeleble	VAR232	1	1,70	1,70
Zócalo CI 2x20-40PIN	VAR505	1	0,40	0,40
Zócalo CI 2x4-8PIN	VAR362	4	0,12	0,48
Zócalo CI 2x8-16PIN	VAR361	1	0,14	0,14
LCD 4x20 Luz Verde	VAR216	1	19	19
Conector GP16 BEIGE	CN170	2	1,20	2,40
Cable MT RIBBON 16	CAB033	1	1,40	1,40
Potenciómetro Trimer	POT037	1	0,40	0,40
Resistencia 1/4W 1K	R1/4W	10	0,03	0,30
Regulador 5V Positivo	10-L7805	1	0,55	0,55
Conector GP3 Beige x3	DN155	4	0,50	2
Conector GP2 Beige x2	DN165	2	0,40	0,80
Conector GP16 Beige	DN170	1	1,20	1,20
TOTAL				80,77
TOTAL (+IVA)				\$90,46

Tabla 5.6 Costo de materiales

Costo	Valor
Bastidor	144,48
Cámara de Conservación	272,33
Accesorios Sistema de Refrigeración	752,48
Accesorios del sistema eléctrico	401,68
Elementos Electrónicos para Control de Temperatura	90,46
Costos de materiales	\$ 1661,43

Tabla 5.7 Costo de mano de obra

Operario	Tiempo(hora/hombre)	Sal. Real /Hora	V. total
Maestro Soldador	2	10	20
Maestro Pintor	1	15	15
Maestro Doblador	1	10	10
Programador			150
Técnico electricista			150
Técnico frigorista			45
Otros			25
	Costos de mano de obra		\$ 415

Tabla 5.8 Costo herramientas

Denominación	Cantidad	V. unitario	V. total
Cortadora para tubería de cobre	1	7	7
Equipo de expansión de tubería de cobre	1	18	18
Piedra Pulidora	1	2,50	2,50
TOTAL			27,50
TOTAL (+IVA)			\$ 30,80

Tabla 5.9 Costo por transporte

Denominación	V. transporte
Envío de elementos del sistema de refrigeración	20
Envío de elementos del sistema de control	3,80
Movilización del banco de refrigeración	12
Costos por transporte	\$ 35,80

Tabla 5.10 Total de costos directos

Denominación	USD [\$]
Costos por materiales	1661,43
Costos por mano de obra	415
Costos por herramientas	30,80
Costos por transporte	35,80
Total de costos directos	\$ 2143,03

5.3 COSTOS INDIRECTOS

5.3.1 Criterio de ingeniería

El valor de criterio de ingeniería se considera entre el 10% y 15% del costo del equipo.

Tabla 5.11 Criterio de ingeniería

Costo	Valor
Criterio de ingeniería	\$ 214,30

Tabla 5.12 Costos por imprevistos

Costo por imprevistos	\$50
------------------------------	-------------

5.3.2 Costos por utilidades

Se considera el 0% del costo del equipo, debido a que es un proyecto de Tesis de Grado. En caso de ser un trabajo particular debe tomarse en cuenta la asignación del valor correspondiente.

Tabla 5.13 Total de costos indirectos

Denominación	USD [\$]
Costos por ingeniería	214,30
Costos por imprevistos	50
Costos por utilidades	0
Total de costos Indirectos	\$ 264,30

5.4 Costo total de fabricación

Tabla 5.14 Costo total del equipo

Denominación	USD [\$]
Costos directos	2143,03
Costos indirectos	264,30
Costo total del equipo	\$ 2407,33

El costo total del equipo es de \$2407,33 (dos mil cuatrocientos siete dólares americanos con 33/100).

5.5 Mantenimiento del equipo

Es el conjunto de actividades técnicas y administrativas cuya finalidad es conservar o restituir un elemento, equipo o instalación en las condiciones que permitan desarrollar su función.

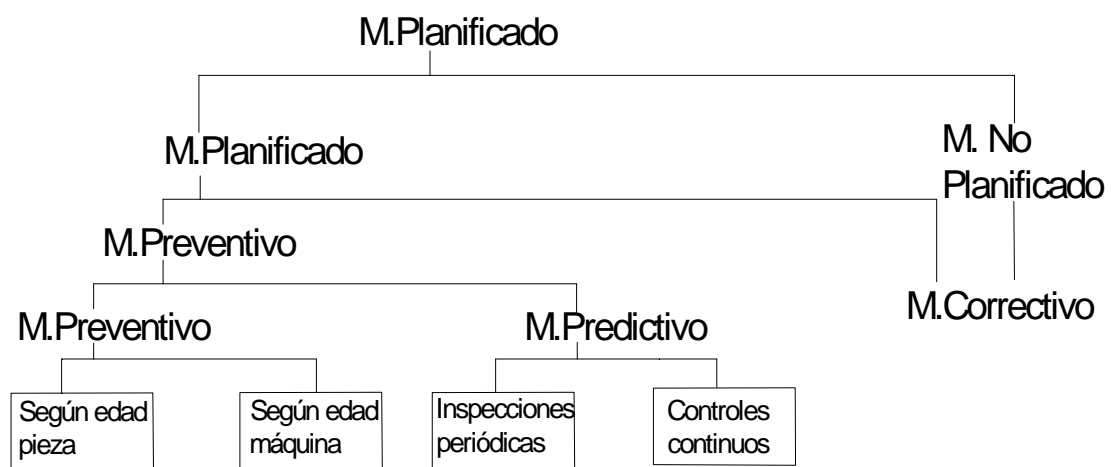
5.5.1 Objetivos del mantenimiento

Los principales objetivos del mantenimiento son:

1. Reducir los costos que causan las paradas producidas por averías.
2. Reducir el deterioro de los elementos, equipos o instalaciones en general.

5.5.2 Tipos de mantenimiento.

En el siguiente cuadro están comprendidos y relacionados entre sí los distintos tipos de mantenimiento.



Se realiza un mantenimiento preventivo, se aplica antes de que ocurra una avería y comienza desde el momento que se va a hacer la instalación del equipo. Es la única forma de asegurar al máximo la continuidad del trabajo del equipo.

En la siguiente tabla se indica las tareas a realizar con sus respectivas frecuencias:

Tabla 5.15 Plan de Mantenimiento

Operación	Semanal	Mensual	Semestral	Anual
Compresor				
Realizar la inspección general del equipo		X		
Verificar las válvulas de servicio	X			
Limpieza exterior		X		
Comprobación conexiones placa de bornes		X		
Comprobación presóstato, manómetros y termómetros		X		
Comprobación de fugas		X		
Comprobación estado de bancada y amortiguadores e instalación eléctrica			X	
Condensador				
Limpieza exterior		X		
Limpieza interior			X	
Comprobación de fugas		X		
Filtro deshidratador				
Sustitución			X	

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Se ha cumplido con el objetivo planteado es decir se ha diseñado y construido el sistema de refrigeración para conservación para el Laboratorio.
- Se ha mejorado la automatización de los dos bancos tanto el de congelación como el de conservación.
- Este sistema de refrigeración será útil para el estudiante que opte por tomar la cátedra de Refrigeración, que facilitará al estudiante, a identificar manipular todas las instalaciones del sistema.
- Cualquier falla de control que se produzca tanto en la cámara de conservación como en la de congelación, podrá identificar fácilmente ya que están monitoreados los dos procesos mediante el programa específico del PLC.
- Se ha elaborado las guías de Laboratorio de Refrigeración que va a permitir al estudiante determinar todos los parámetros de un sistema de refrigeración simple de una etapa.
- Se logró el funcionamiento simultáneo de los dos procesos tanto el de congelación como el de conservación.
- Todos los conocimientos adquiridos durante la formación profesional se ha aplicado en el diseño y construcción del sistema.
- El accesorio fundamental para el funcionamiento simultáneo de los dos sistemas es la válvula reguladora de presión de evaporación con la finalidad que las presiones sean las mismas en la línea de baja presión.
- El control del sistema de conservación se ha realizado en función de la temperatura es decir mediante ésta se controla el encendido y apagado del compresor.
- En el sistema de congelación el control, para el funcionamiento del compresor se ha realizado en función de la caída de presión es decir aquí va a trabajar el presóstato en lado de baja presión.

6.2 Recomendaciones

- Se debe tener cuidado al momento de realizar las conexiones respectivas para el funcionamiento adecuado de los dos procesos.
- Cualquier falla producida en el sistema de refrigeración o congelación se debe analizar adecuadamente según los planos ya sea en el circuito de control o de mando para el caso que sea eléctrico.
- Observar por medio de la mirilla si el sistema tiene la carga correctamente de refrigerante.
- Para seleccionar un diferente proceso del que se encuentre funcionando debe apagarse el proceso con el botón off y de ahí iniciar el otro proceso con el botón on del tablero de control.
- En la construcción del sistema de refrigeración debe asegurarse de realizar un buen acampanamiento de la tubería para evitar que existan fugas.
- Se debe evitar vibración del sistema ya que puede provocar fallas en la suelda en uniones de la tubería.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] VALENZUELA, Ramiro R. Apuntes de Refrigeración. 2da.ed. Ecuador: Riobamba, 2002. pp. 12, 8, 10, 16, 27, 36, 51, 52, 56, 57.
- [2] FERNANDEZ, P. Termodinámica Técnica. 2da.ed. España: Irwin, 2003. pp. 222.
- [3] DOSSAT, R. Principios de Refrigeración. 2da.ed. México: Continental, 2001. pp. 137.
- [4] FRANCO, M. Manual de Refrigeración. 2da.ed. España: Madrid, 2003. pp. 12, 46-47, 84-85, 103, 107, 129-130-131, 12, 15, 89, 74, 76, 58, 79.
- [5] MONTALVO, P. Seminario de PLC. Nivel 1. Ecuador: Riobamba, 2010.
- [6] TESIS UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE. Diseño de una Cámara de Refrigeración para Zanahoria. Chile, 1998. pp. 6, 31.
- [7] DANFOSS. Reguladores de presión de evaporación KVP. 2da.ed. Dinamarca, 2008. pp. 3.
- [8] TESIS ESPOL. Diseño de Dos Cámara de Conservación y Congelación. Ecuador: Guayaquil, 2000. pp. 3, 157.
- [9] Refrigerante R-404 A. www.goole.com. (2010-01-07)
- [10] TESIS ESPOCH. Diseño y construcción de un Banco de Congelación. Ecuador: Riobamba, 2006. pp. 53.
- [11] Quimipac Poliuretano Expandido. www.quimipac.com. (2009-07-28).
- [12] IRAM, Norma 11601. 2da.ed. Argentina: Buenos Aires, 1996. pp. 157.
- [13] GOMEZ, M. Sistema de Control. www.google.com. (2010-01-25).
- [14] ASRE. Data Book. Volumen de Diseño. 3ra.ed. España: Madrid, 1994.
- [15] ASHRAE, Hand Book. Refrigerating and Air Conditioning Engineers. 5ta.ed. Atlanta: Millstar Electronic, 2005. pp. 258.
- [16] Instalación del sistema de refrigeración. www.Bohn.Instalación.com. (2010-02-09).
- [17] DANFOSS. Notas del Instalador. 2da.ed. Dinamarca, 1998.
- [18] DANFOSS. Operación y Mantenimiento. [www.Danfoss.Instalación.Operación y Mantenimiento.com](http://www.Danfoss.Instalación.Operación.y.Mantenimiento.com). (2010-01-29).
- [19] ARTICA. Catálogos Técnicos. www.google.com. (2009-10-15).

BIBLIOGRAFÍA

- VALENZUELA, Ramiro R. Apuntes de Refrigeración. 2da.ed. Ecuador: Riobamba, 2002.
- FERNANDEZ, P. Termodinámica Técnica. 2da.ed. España: Irwin, 2003.
- DOSSAT, R. Principios de Refrigeración. 2da.ed. México: Continental, 2001.
- FRANCO, M. Manual de Refrigeración. 2da.ed. España: Madrid, 2003.
- MONTALVO, P. Seminario de PLC. Nivel 1. Ecuador: Riobamba, 2010.
- TESIS UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE. Diseño de una Cámara de Refrigeración para Zanahoria. Chile, 1998.
- DANFOSS. Reguladores de Presión de Evaporación KVP. 2da.ed. Dinamarca, 2008.
- TESIS ESPOL. Diseño de Dos Cámara de Conservación y Congelación. Ecuador: Guayaquil, 2000.
- Refrigerante R-404 A. www.goole.com. (2010-01-07)
- TESIS ESPOCH. Diseño y construcción de un Banco de Congelación. Ecuador: Riobamba, 2006.
- Quimipac Poliuretano expandido. www.quimipac.com . (2009-07-28).
- IRAM, Norma 11601. 2da.ed. Argentina: Buenos Aires, 1996.
- GOMEZ, M. Sistema de Control. www.google.com. (2010-01-25).
- ASRE. Data Book. Volumen de Diseño. 3ra.ed. España: Madrid, 1994.
- ASHRAE, Hand Book. Refrigerating and Air Conditioning Engineers. 5ta.ed. Atlanta: Millstar Electronic, 2005.
- Instalación del Sistema de Refrigeración. www.Bohn.Instalación.com. (2010-02-09).
- DANFOSS. Notas del instalador. 2da.ed. Dinamarca, 1998.
- DANFOSS. Operación y Mantenimiento. [www.Danfoss Instalación. Operación y Mantenimiento.com](http://www.Danfoss.Instalación.Operación.y.Mantenimiento.com). (2010-01-29).
- ARTICA. Catálogos Técnicos. www.google.com. (2009-10-15)

LINKOGRAFÍA

Refrigeración

www.frigorista.com

(2009-05-20)

Quimipac Poliuretano Expandido

www.quimipac.com

(2009-07-28)

Refrigerante R-404 A

www.google.com

(2010-01-07)

Catálogos de Refrigeración

www.danfoss.com

(2010-01-12)

www.antartic.com

(2010-01-14)

Intercambiadores de Calor

www.Thermo-coil.com

(2010-01-17)

Instalación de Sistemas de Refrigeración

www.Bohn.com

(2010-02-09)

Programación PLC

www.logicbus.com.mx

(2010-03-10)